

VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ
KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ PRO AUTOMOBILY

**TECHNOLOGIE 3D TISKU
TECHNOLOGY OF THE 3D PRINTING**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



AUTOR PRÁCE:
VEDOUCÍ PRÁCE:

LUKÁŠ FOLOVSKÝ
Ing. VLADIMÍR ZBOŽÍNEK

2014

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Folovský

Studijní program:

B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor:

3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma:

Technologie 3D tisku
Technology of the 3D printing

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky.
2. Popis zařízení pro 3D tisk.
3. Realizace tisku dané součásti.
4. Shrnutí dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

LUKOVICS, I.: Konstrukční materiály a technologie. 1. vyd. [s.l.] : VUT Br-no, 1992. 272 s. ISBN 80-214-0399-3.

MILTADIS A. BOBOULOS. CAD-CAM & Rapid prototyping Application Evaluation. 2010. 174s. ISBN 978-87-7681-676-6.

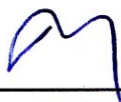
CHUA C.K., LEONG K.F. AND LIM C.S., Chua C.K., Leong K.F. and Lim C.S. Rapid prototyping: principles and applications. 3rd ed. Singapur: World Scientific. ISBN 978-981-2778-987.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Zbožínek**

Datum zadání: 29.11.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014


doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry. Měl by korespondovat s podobou vnějších desek (viz část III) doplněnou o název práce, umístěný nad spojením **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení je napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a je vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníky a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listu vloženo prohlášení spolupracující právníké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. jedné strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý

– 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listu. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

- ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2013/2014. Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru.

Ostrava 22. 11. 2013

Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že:

- Jsem byl seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odstavec 3)
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odstavce 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona číslo 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.
- **Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.**

V Ostravě dne

.....

Podpis (jméno a příjmení studenta)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technologiemi 3D tisku a jejich popisem. U každé technologie je popsán postup výroby modelu, používané materiály a konkrétní ukázky výrobků, které je daná technologie schopna vytvořit. Součástí práce je tisk víčka konektoru dobíjení na 3D tiskárně ProJet 1500 pomocí technologie Film Transfer Imaging a na 3D tiskárně Xeed pomocí technologie Fused Deposition Modeling. Jsou zde popsány zařízení potřebné pro tisk s následným popisem realizace tisku a porovnáním těchto 3D tiskáren na vytištěném víčku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Technologie 3D tisku, Rapid Prototyping, 3D tisk, ProJet 1500, Film Transfer Imaging, Xeed, Fused Deposition Modeling

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with widely used 3D printing technologies and their descriptions. For each technology the process of manufacturing the model and used materials are described as well as the specific examples of products that the technology is able to create are presented. The part of the thesis is practical application using ProJet 1500 by Film Transfer Imaging technology and Xeed by Fused Deposition Modeling. The equipment needed for printing with subsequent realization of the print and the evaluation of print quality is described.

KEYWORDS

Technology of the 3D printing, Rapid Prototyping, 3D printing, ProJet 1500, Film Transfer Imaging, Xeed, Fused Deposition Modeling

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali při vypracování mé bakalářské práce. Děkuji především vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimíru Zbožínkovi za cenné rady a připomínky. Zvláště za čas věnovaný odborným konzultacím a pomoc při řešení problémů.

OBSAH

ÚVOD	3
1 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY	4
1.1 OBECNÝ PRINCIP VÝROBY SOUČÁSTI	5
1.2 TECHNOLOGIE TISKU Z PEVNOLÁTKOVÝCH MATERIÁLŮ	6
1.2.1 Fused Deposition Modeling (FDM) – nanášení roztaveného polymeru	6
1.2.2 Laminated Object Manufacturing (LOM) – výroba vrstvením	8
1.3 TECHNOLOGIE TISKU Z PRÁŠKOVÝCH MATERIÁLŮ	10
1.3.1 Selective Laser Sintering (SLS) – selektivní laserové spékání	10
1.3.2 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	12
1.4 TECHNOLOGIE TISKU Z KAPALNÝCH MATERIÁLŮ	13
1.4.1 PolyJet technology (PJT) – tryskání polymeru	13
1.4.2 Stereolithography (SLA) - stereolitografie	15
1.4.3 Film Transfer Imaging (FTI) – vytvrzování tekutého fotopolymeru	17
2 POPIS ZAŘÍZENÍ PRO 3D TISK	19
2.1 PROJET 1500	19
2.1.1 3D tiskárna ProJet 1500	20
2.1.2 Vytvrzovací jednotka ProJet	24
2.1.3 Oplachové pracoviště	25
2.2 XEED	26
3 REALIZACE TISKU DANÉ SOUČÁSTI	29
3.1 PŘEVOD MODELU DO FORMÁTU STL	30
3.2 PROJET 1500	32
3.2.1 Příprava tiskárny pro tisk	32
3.2.2 Nastavení parametrů tisku	33
3.2.3 Průběh tisku	37
3.2.4 Oplach součásti	37
3.2.5 Vytvrzení součásti a odstranění podpor	39
3.2.6 Dokončovací operace	41
3.3 XEED	42
3.3.1 Příprava tiskárny pro tisk	42
3.3.2 Nastavení parametrů tisku	43
3.3.3 Průběh tisku	44
3.3.4 Odstranění podpor	45



3.4	POROVNÁNÍ 3D TISKÁREN	46
5	SHRNUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	48
	POUŽITÁ LITERATURA	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	52
	SEZNAM PŘÍLOH	54



ÚVOD

Téma technologie 3D tisku jsem si vybral z důvodu aktuálnosti této problematiky. V dnešní době je zapotřebí rychlého vývoje nových produktů a toho lze docílit pomocí technologií 3D tisku neboli Rapid Prototyping. Je to takzvaná aditivní metoda, jejíž principem je vytváření 3D modelu vrstvu po vrstvě. Dnes se běžně navrhuje výrobky v některých CAD softwarech, což je vhodné pro následnou výrobu prototypu pomocí 3D tisku. Oproti jiným metodám je to ve své podstatě levnější způsob výroby prototypu a hlavně jde o mnohem rychlejší variantu. Výroba takového prototypu může trvat jen pár hodin. První technologie se na trhu začaly objevovat v 80. letech minulého století, ale až posledních 10 let se začaly více rozšiřovat.

Technologie 3D tisku se hodí zejména konstruktérům, designérům a obecně všude kde je žádoucí ve velmi krátkém čase vytvořit nějaký díl anebo prototyp. Oblasti použití jsou zejména ve strojírenském, letadlovém a automobilovém průmyslu, ale také je můžeme použít v medicínských a dentálních aplikacích.

Cílem teoretické části bakalářské práce je popsat vybrané technologie 3D tisku. U každé technologie je popsán postup výroby modelu, používané materiály a konkrétní ukázky výrobků, které je daná technologie schopna vytvořit.

V praktické části bakalářské práce se budu zabývat tiskem součástí na 3D tiskárně ProJet 1500 pomocí technologie Film Transfer Imaging a na 3D tiskárně Xeed pomocí technologie Fused Deposition Modeling. Jedná se o tisk víčka konektoru dobíjení k aktuálně vyvíjenému elektromobilu na katedře materiálů a technologií pro automobily. Jsou zde popsány zařízení potřebné pro tisk s následným popisem realizace tisku a porovnáním těchto 3D tiskáren na vytištěném víčku.

1 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

Technologie výroby 3D modelu pomocí 3D tisku u všech druhů technologií pracuje na podobném principu kladení vrstev materiálu na sebe. Materiál není ubírán, jako je tomu u konvekčních metod (soustružení, frézování, vrtání atd.), ale je zde naopak přidáván, proto se jedná o tzv. aditivní metody. Součást je vytištěna přímo z digitálního 3D modelu vytvořeného pomocí Computer Aided Design (CAD) softwaru. 3D model je uložen do formátu stereolithography (STL) a pomocí programu dodaného výrobcem tiskárny je model „rozřezán“ na tenké vrstvy a následně vytištěn vrstvu po vrstvě. Výroba dílu může trvat pár hodin, ale i dny v závislosti na velikosti tištěného dílu a zvolené technologii.

Technologie 3D tisku umožňuje vytvářet vnější i vnitřní tvary součástí jakkoli složité, což v konečném důsledku přináší úsporu výrobních nákladů a zkrácení doby výroby. Tvorba prototypů (součástí) se provádí pro ověření vyrobitelnosti, smontovatelnosti, posouzení vzhledu, ale také pro kusovou výrobu.

Metod výroby 3D modelu na 3D tiskárnách je mnoho, v dnešní době je to něco kolem třiceti různých technologií. Níže se budu zabývat nejrozšířenějšími metodami podrobněji. Dělení těchto technologií je možné podle různých hledisek, zvolil jsem dělení podle skupenství materiálu.

Rozdělení technologií 3D tisku:

- Technologie tisku z pevnolátkových materiálů.
- Technologie tisku z práškových materiálů.
- Technologie tisku z kapalných materiálů.

Ke každé skupině jsou uvedeny jen důležité a často používané technologie 3D tisku s jejich podrobným popisem.

1.1 Obecný princip výroby součásti

Existuje mnoho různých technologií 3D tisku využívající různé materiály, nicméně každá technologie používá tyto základní kroky:

1. *Vytvoření 3D modelu*

Ze všeho nejdříve je nutné vytvořit 3D model součásti v některém z CAD programu.

2. *Převod 3D modelu do STL modelu*

Odlišné CAD softwary ukládají geometrická data představující 3D model různě. Proto je nutné převést je do jednotného formátu určeného pro 3D tisk a to do formátu STL. Původně byl vyvinut pro stereolitografii, ale nyní je to standardní formát souborů pro 3D tisk.

3. *Nastavení parametrů tisku*

Pomocí specializovaného programu se nastaví orientace a poloha modelu ve stroji. Vliv mají na dobu sestavení, pevnost vytvářeného dílu a v neposlední řadě na přesnost. Poté program „rozkrájí“ model na tenké vrstvy v rovině XY a každá vrstva bude tištěna na předchozí vrstvu ve směru osy Z.

4. *Tištění dílu*

Tiskárna tiskne z modelu STL postupně vrstvy materiálu na horní část dříve vytvořených vrstev. Technika k vytváření vrstev se výrazně liší podle použité technologie, stejně tak podle použitého materiálu. Materiály používané k tisku jsou například polymery, práškové kovy, papír atd., v závislosti na technologii tisku.

5. *Následné zpracování dílu*

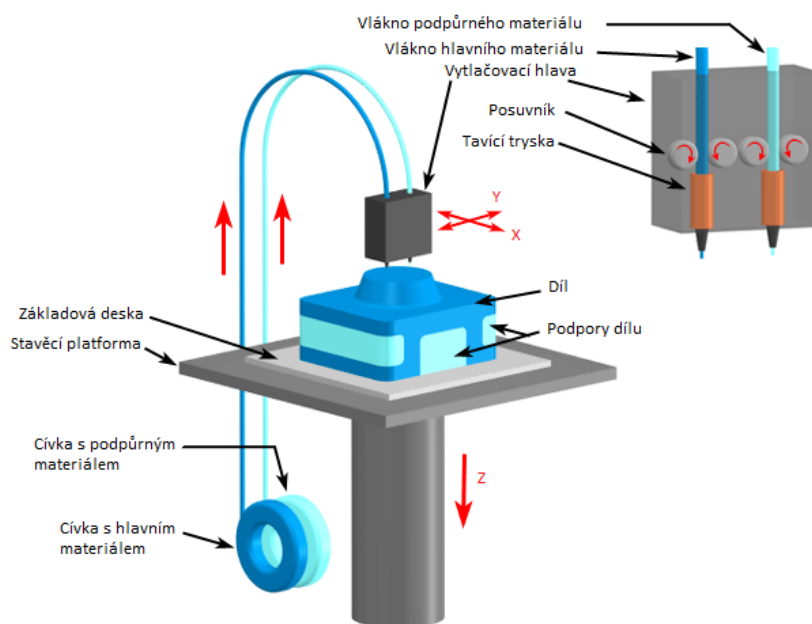
Po vytvoření celého dílu je nutné odstranit podpěry, jestliže byly potřebné. Pokud byl díl vyroben z fotosenzitivního materiálu, musí být vytvrzen pro dosažení maximální tvrdosti. Další úpravy, jako je broušení, lakování anebo natírání se dělají pro zlepšení vzhledu a odolnosti. [1]

1.2 TECHNOLOGIE TISKU Z PEVNOLÁTKOVÝCH MATERIÁLŮ

Tyto technologie využívají při tisku součásti materiál, jež je v základním stavu tuhý.

1.2.1 Fused Deposition Modeling (FDM) – nanášení roztaveného polymeru

Základem metody FDM je nanášení termoplastického materiálu v podobě slabého vlákna roztaveného nahřátou tryskou, která se pohybuje v osách X a Y (Obr. 1). Nahřáté vlákno se po nanesení rychle vytvrdí. Vzájemně se tím spojují a vytváří vrstvu po vrstvě 3D výrobek. Po vytvoření jedné vrstvy se posune stavěcí platforma o tloušťku vrstvy směrem dolů v ose Z a začne se tvořit vrstva další. U tvarově složitějších součásti se používá lehce odstranitelný materiál jako podpora, která se po vytisknutí lehce odstraní. Vytisknuté díly jsou schopny vydržet působení tepla, chemikálií, vlhké nebo suché prostředí a mechanické namáhání v závislosti na použitém materiálu. [2]



Obr. 1: Schématické zobrazení Fused Deposition Modeling [2]

Pro tisk se používají materiály z ABS, polykarbonátu, polypropylenu, polyamidu a také například z vysoce kvalitního materiálu ULTEM 9085. Používá se také vosk pro výrobu vytavitelného modelu určeného k lití. [17]

Výhodou této metody je minimální odpad, netoxicity, velký výběr materiálů s různými vlastnostmi a snadná obsluha. Nevýhodou je výsledný nerovný povrch, horší vytváření detailů jako jsou malé otvory anebo výstupky.

Ukázka vyrobených součástí

Součásti vyrobené touto technologií jsou zobrazeny níže. Blatník (Obr. 2) i vrtule (Obr. 3) jsou vyrobeny z ABS plastu v různých barvách.



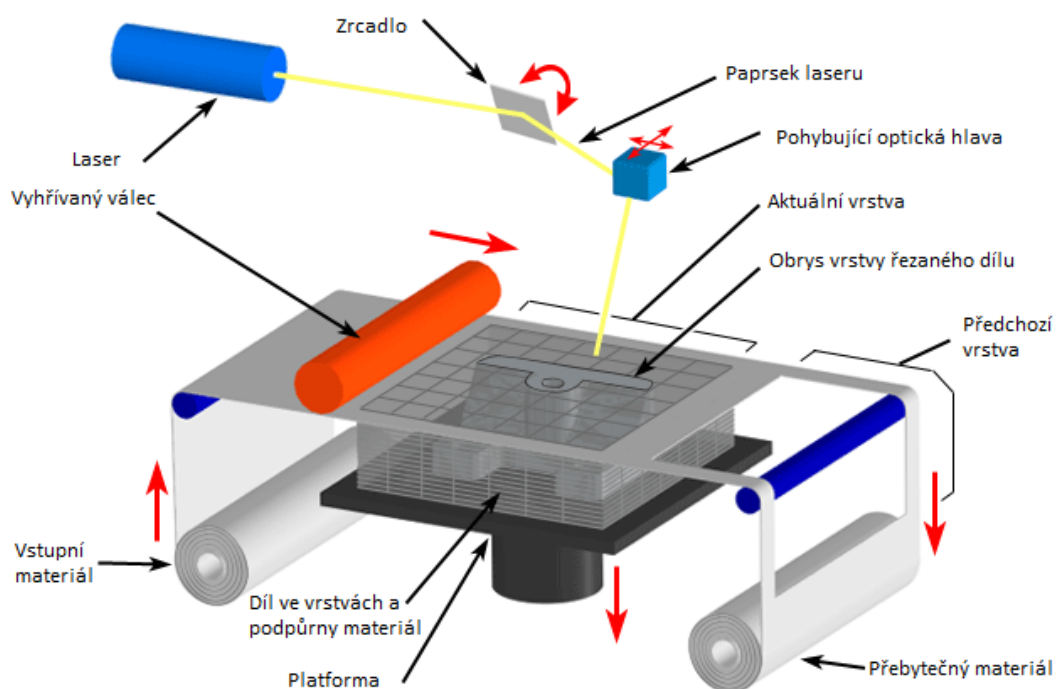
Obr. 2: Blatník [12]



Obr. 3: Vrtule ventilátoru [12]

1.2.2 Laminated Object Manufacturing (LOM) – výroba vrstvením

Laminated Object Manufacturing je technologie založená na odlišném principu oproti metodě FDM. Technologii LOM vyvinula firma Helis v roce 1991 a jejím principem je kladení vrstev na sebe. Každá vrstva je vytvořena pomocí laserového paprsku, který vyřeže obrys tištěného dílu. Přebytečný materiál rozřeže na čtverce (Obr. 4), které slouží pro lepší odstranitelnost a zároveň také jako podpora pro vytvářený díl. Následně pomocí nahřátého válce a tlaku, kterým na vrstvu působí, se spojí s předchozí vrstvou. Papír je proto napuštěn zpevňovací hmotou anebo potažen tenkou plastovou vrstvou. Materiál pokrývá vždy celou pracovní plochu s menšími přesahy pro zajištění posuvu další vrstvy a je vždy celý využit. Další krok je posun platformy o tloušťku jedné vrstvy směrem dolů a dopravení další vrstvy. Tento postup se opakuje až do dokončení celého dílu. [8][11]

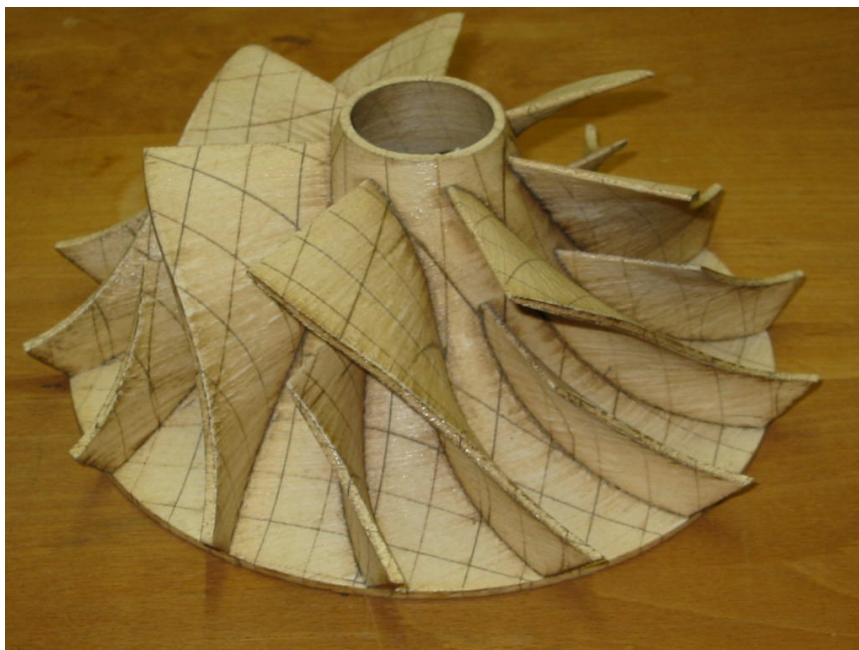


Obr. 4: Schématické zobrazení Laminated Deposition Modeling [7]

Materiály jsou běžně dodávány v rolích. Nejčastěji se používá papír a plast (nylon, polyester), méně často kovy a kompozity. Výhodou je velice rychlá výroba dílu díky řezání obrysu a ne celé plochy modelu. Je vhodná pro větší modely. Tato metoda neprodukuje prakticky žádné vnitřní napětí a tím ani související nežádoucí deformace. Obecně je méně přesná než SLA a SLS metody. Nevýhoda je ve velkém množství přebytečného materiálu, který nelze dále použít pro výrobu jako u práškových metod (SLS). Není vhodná pro modely s tenkou stěnou a není nemožné vytvořit prázdné uzavřené dutiny. [10][8]

Ukázka vyrobených součástí

Součásti vyrobené touto technologií jsou zobrazeny níže. Model turbíny (Obr. 5) je vyroben z papíru a víčko z polymeru (Obr. 6).



Obr. 5: Turbína [9]



Obr. 6: Víčko [10]

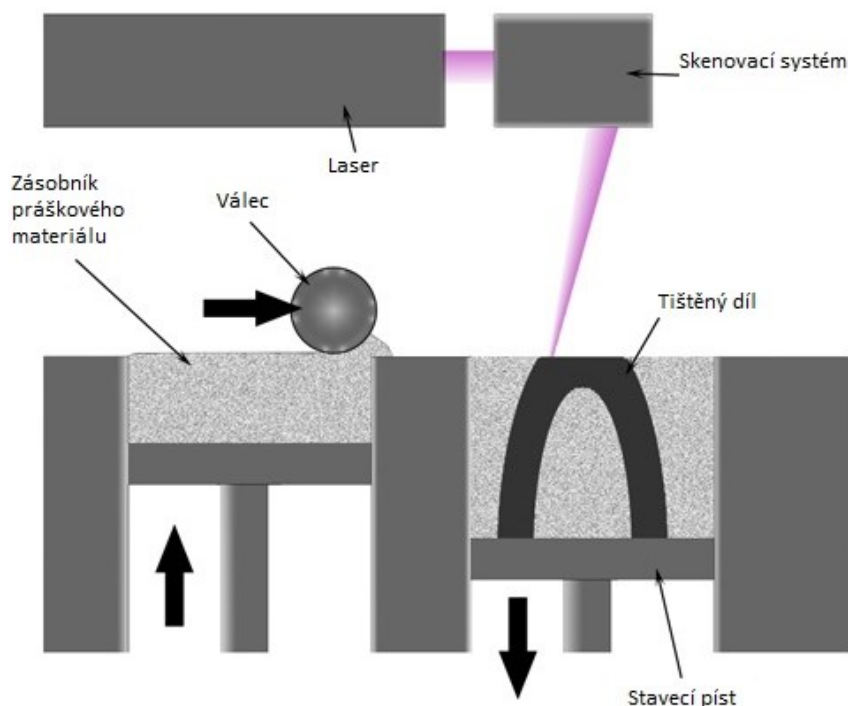
1.3 TECHNOLOGIE TISKU Z PRÁŠKOVÝCH MATERIÁLŮ

Tyto technologie využívají při tisku součásti materiál, jež je v základním stavu v práškové podobě.

1.3.1 Selective Laser Sintering (SLS) – selektivní laserové spékání

Tato metoda je jedna z nejstarších a byla vytvořena doktorem Carlem Deckardem. V této technologii se používá laserový paprsek (CO_2 laser) o vysokém výkonu, který spéká práškový materiál. Laser vytváří vrstvu po vrstvě spékáním prášku podobně jak je tomu například u technologie SLA. Válec nejdříve dodá materiál ze zásobníku na stavěcí píst, kde zároveň vytvoří tenkou vrstvu připravenou pro spečení plochy aktuálního řezu tištěného dílu pomocí laseru. Po vytvoření této vrstvy se posune stavěcí píst o tloušťku vrstvy dolů a proces se opakuje až do úplného vytvoření tištěného dílu (Obr. 7). [5][8]

Vstupní materiál je ve formě velmi jemného prášku o velikosti částice 20 až 100 μm . Materiály používané touto technologií k tisku jsou nejvíce plasty, ale i kov, sklo a keramika. U plastů jsou to především polykarbonáty a nylon. Při stavbě složitých součástí není nutné používat žádných podpor, poněvadž součást je permanentně obklopena materiálem. Po dokončení dílu není potřeba je dále vytvrzovat jako u SLA metody. Nevýhodou je nemožnost tisku prázdných uzavřených dutin a vysoká energetická náročnost. [5][8]



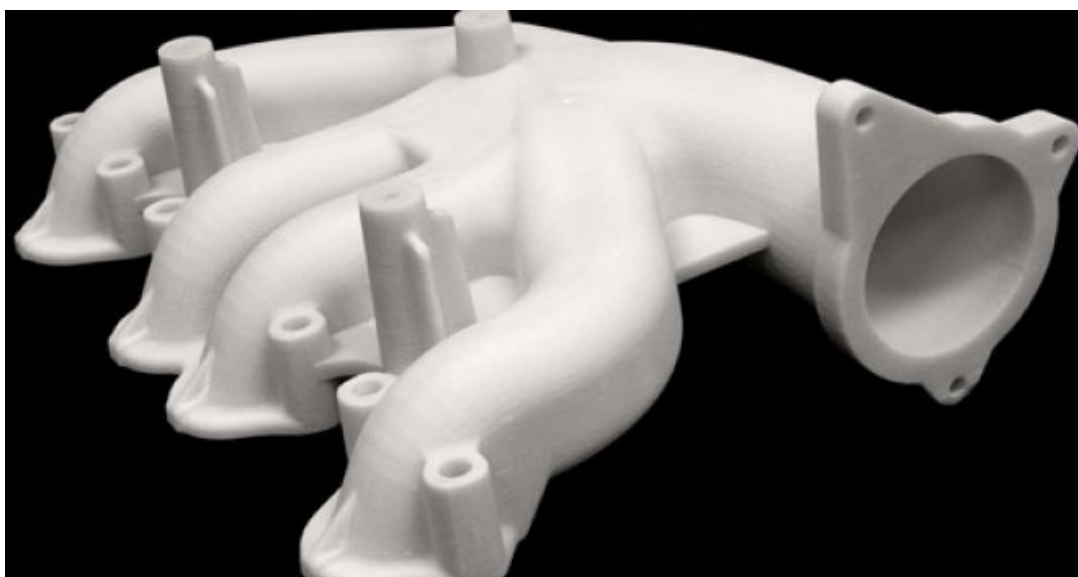
Obr. 7: Schématické zobrazení Selective Laser Sintering [5]

Ukázka vyrobených součástí

Součásti vyrobené touto technologií jsou zobrazeny níže. Sání (Obr. 8) je vyrobeno z polykarbonátu a výfukové svody (Obr. 9) z nylonu.



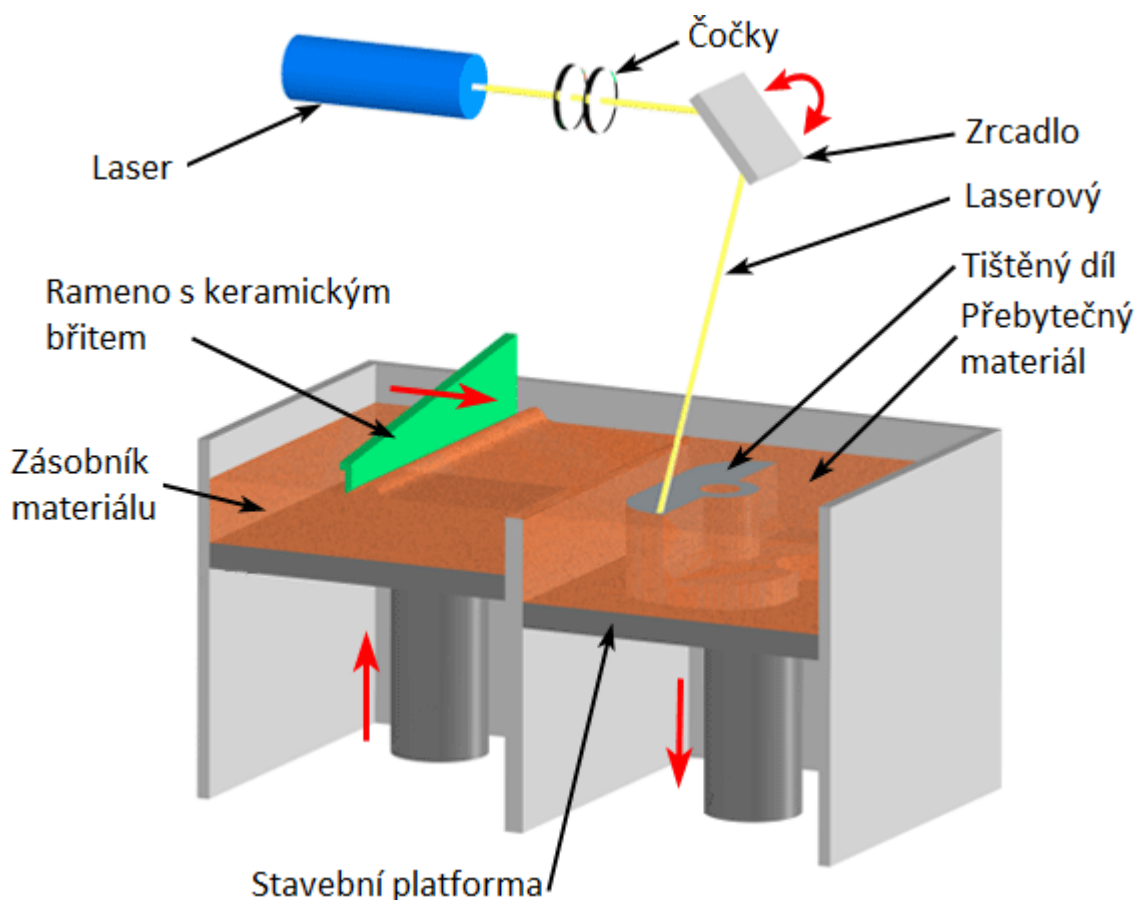
Obr. 8: Sání [13]



Obr. 9: Výfukové svody [18]

1.3.2 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Dávkovací zařízení nastaví množství prášku pro jednu vrstvu a rameno s keramickým břítem rozprostře na povrch ocelové platformy rovnoměrně vrstvu prášku dle zvolené tloušťky vrstvy. V místě dopadu laserového paprsku je kovový prášek lokálně roztaven, přičemž dochází ke spečení podkladové vrstvy a následně tuhne (Obr. 10). Poté následuje tisk další vrstvy stejně až do dokončení celého dílu. Ocelová platforma při tisku odvádí teplo, pro rychlejší chladnutí materiálu. Pracovní komora je hermeticky uzavřena a naplněna dusíkem pro ochranu vyráběného dílu před oxidací.



Obr. 10: Schématické zobrazení Direct Metal Laser Sintering [27]

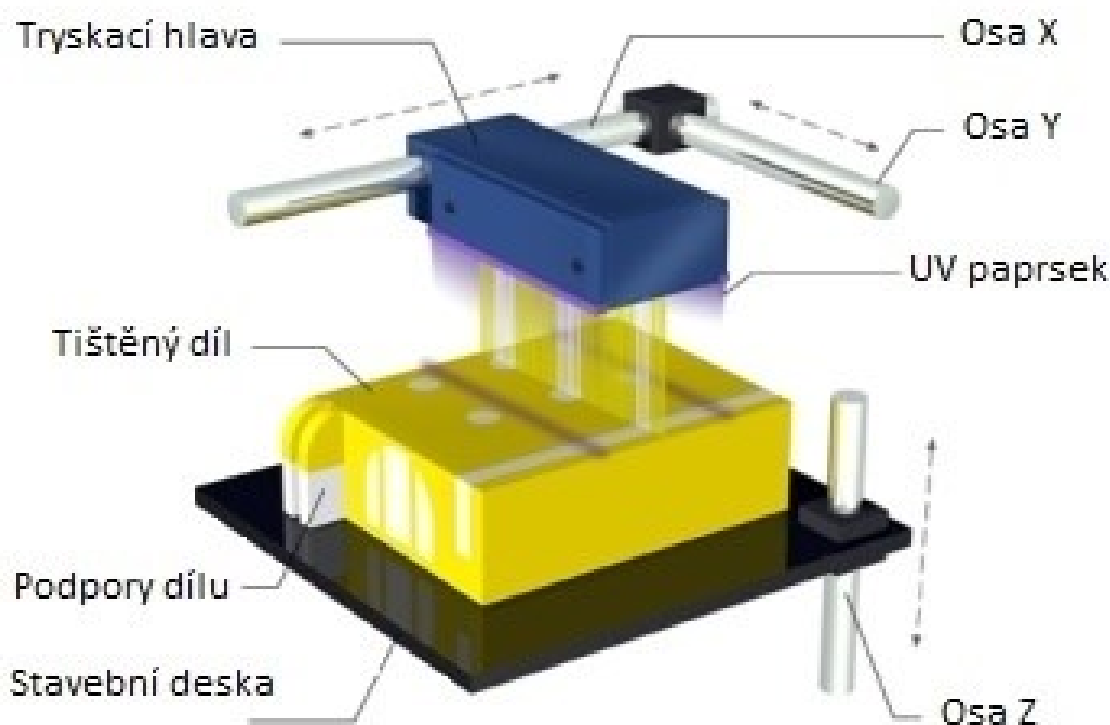
Materiál používaný k tisku je ve formě jemného prášku z kovu anebo slitin a to například nerezová ocel, martenzitická ocel, slitina bronz-nikl, hliník, bronz anebo titan. Podpory jsou tvořeny nespečeným práškem v okolí tištěné součásti. Výhodou je znovupoužití tohoto prášku (až 98%) pro tisk dalších součástí, vysoká přesnost (tloušťka vrstvy 0,02 mm). Nevýhoda je v energetické a prostorové náročnosti. [27]

1.4 TECHNOLOGIE TISKU Z KAPALNÝCH MATERIÁLŮ

Tyto technologie využívají při tisku součásti materiál, jež je v základním stavu kapalný.

1.4.1 PolyJet technology (PJT) – tryskání polymeru

Tato technologie je podobná tisku inkoustové tiskárny. Místo tryskání inkoustu na papír je použit tekutý fotopolymer nanášený ve vrstvách a vytvrzován UV světlem okamžitě po nanesení materiálu. Tryskací hlava se pohybuje v osách X a Y (Obr. 11). Obsahuje několik desítek trysek, které jsou samostatně řízeny počítačem, a také je v ní umístěn zdroj UV světla, který slouží pro okamžité vytvrzování materiálu. Stavební deska se pohybuje v ose Z a to vždy o tloušťku vrstvy směrem dolů.



Obr. 11: Schématické zobrazení PolyJet [6]

U tvarově komplikovaných výrobků bývá použit další materiál na bázi gelu, který slouží jako podpurný materiál. Odstranění přídavného materiálu je zpravidla jednoduché a to pod vodou. Při jednom tisku lze kombinovat vícero druhů materiálů i vícero druhů barev. Tato metoda je vhodná pro velice přesné modely, jelikož tloušťka jedné vrstvy je jen 0,016 mm. [3]

Ukázka vyrobených součástí

Součásti vyrobené touto technologií jsou zobrazeny níže. Prototyp turbíny (Obr. 12) a výdech topení (Obr. 13).



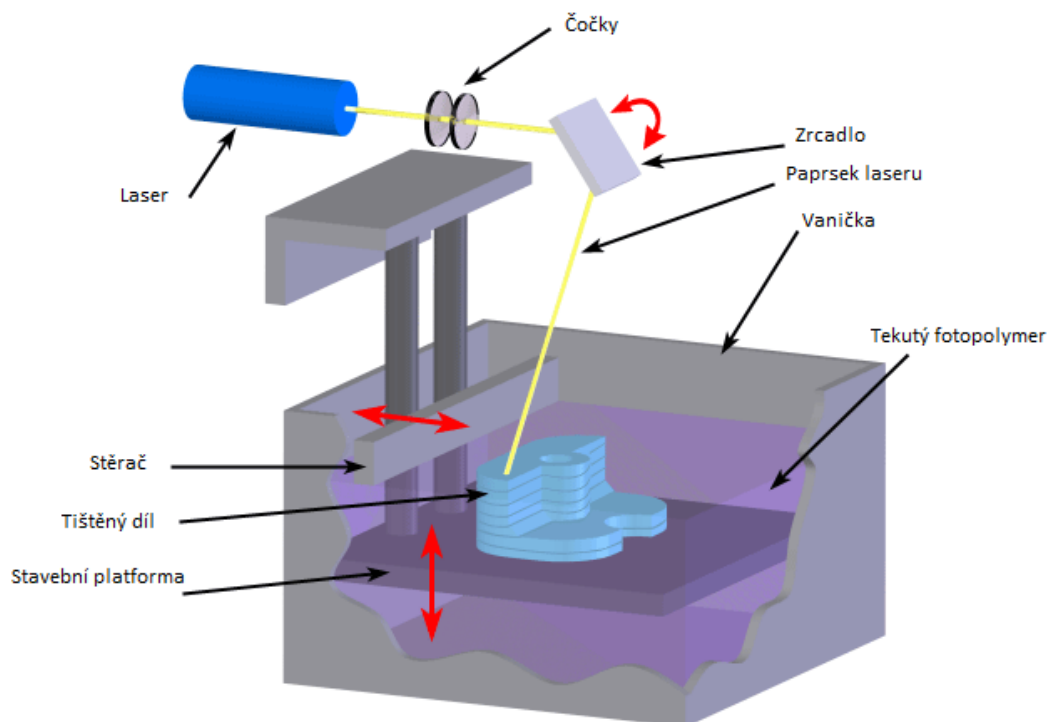
Obr. 12: Prototyp turbíny [20]



Obr. 13: Výdech topení [21]

1.4.2 Stereolithography (SLA) - stereolitografie

Stereolitografie využívá UV laser, který vytvrzuje vrstvu po vrstvě kapalinu fotosenzitivního polymeru. Tištěný model se nachází v nádobě s kapalným materiálem. Po vytvoření první vrstvy je nutné setřít nerovnosti dokončené vrstvy stěračem, poté se posune stavební platforma dolů o tloušťku vrstvy a pokračuje se v dalším vytvrzování následující vrstvy (Obr. 14). Tloušťka vrstev se pohybuje od 0,05 do 0,15 mm. Tento proces se opakuje až do úplného dokončení součásti. Na konci je stavební platforma vysunuta nad hladinu kapaliny a součást se vyjme pro dokončovací operace. Opláchne se od zbytku polymeru, odstraní se podpory, a pokud je to nutné, tak se vytvrdí v UV peci pro zlepšení mechanických vlastností. [4]

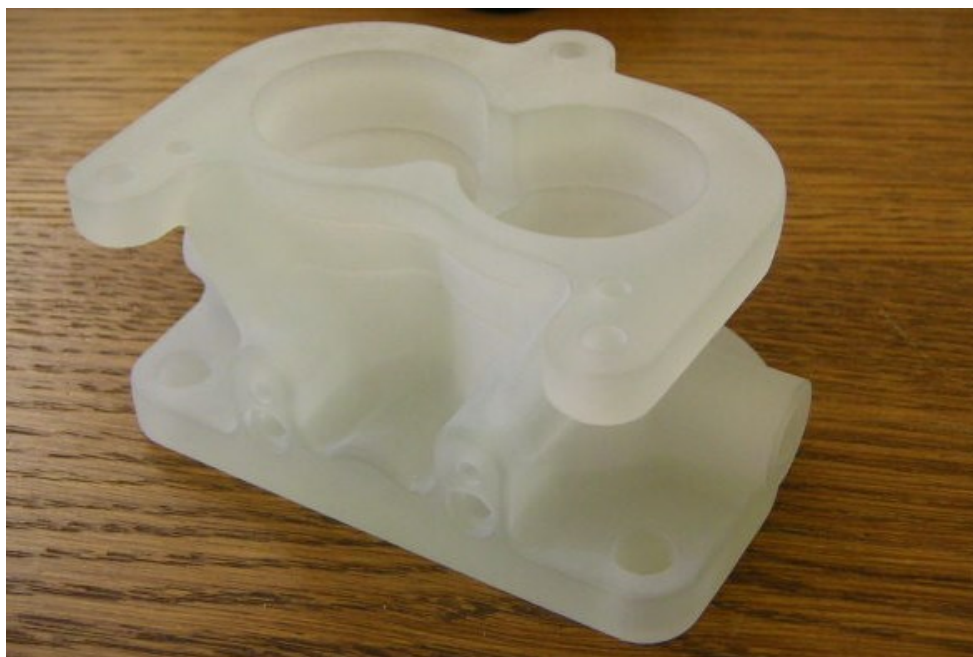


Obr. 14: Schématické zobrazení Stereolithography [4]

Materiály nejčastěji používané u této metody jsou akryláty, epoxidy anebo pryskyřice. Je to jedna z nejpřesnějších a nejrychlejších metod. Výhodou je možnost výroby modelů s malými otvory a přesnými detaily. Nevýhodou je malá tepelná odolnost některých materiálů, toxicita, křehkost, a nutnost stavby podpor. U této metody nelze vytvořit prázdné uzavřené dutiny. [4]

Ukázka vyrobených součástí

Součásti vyrobené touto technologií jsou zobrazeny níže. Model součásti výfukových svodů (Obr. 15) a sání (Obr. 16).



Obr. 15: Součást výfukových svodů [14]



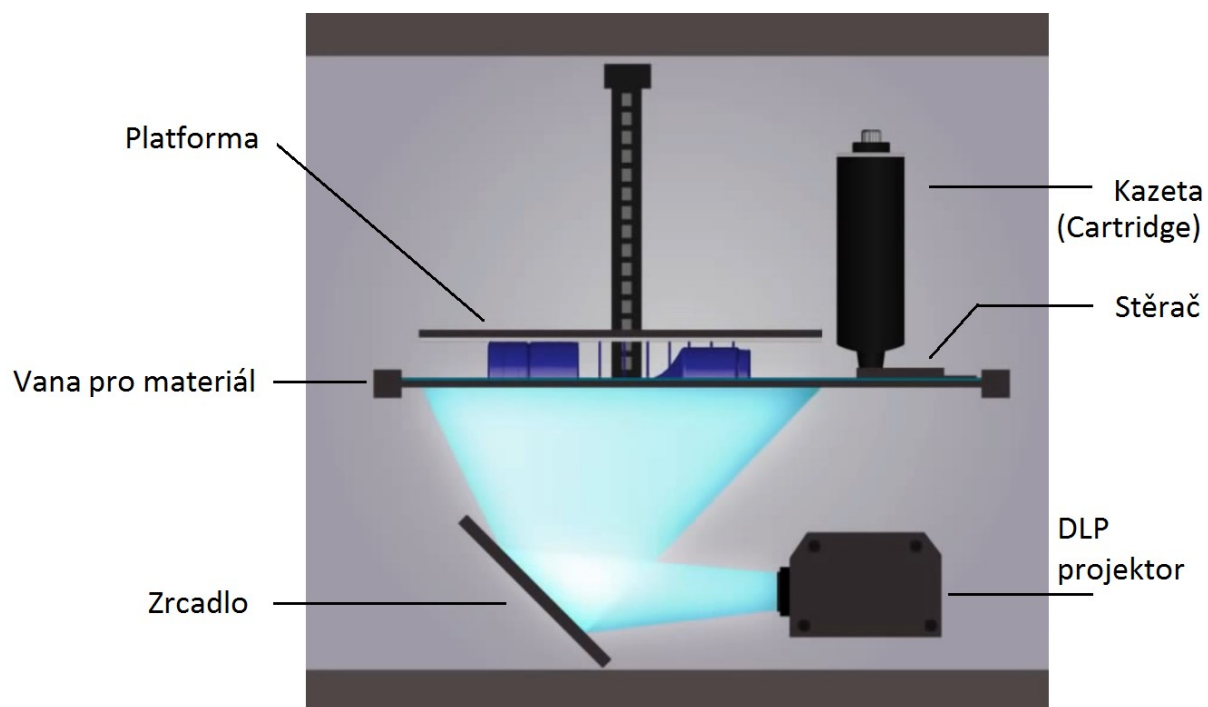
Obr. 16: Sání [14]

1.4.3 Film Transfer Imaging (FTI) – vytvrzování tekutého fotopolymeru

Je to obdobná technologie jako SLA (viz. kap. 1.4.2). Místo laseru je zde použit DLP (Digital Light Processing) projektor, který se běžně využívá u dataprojektorů. Místo obyčejné lampy je zde UV lampa, pomocí které se vytvrzuje tekutý fotopolymer. Díky této optice se vytvoří obraz aktuálního řezu tištěného dílu a pomocí zrcadla se tento obraz přenesení na pracovní prostor. Z tohoto důvodu není rychlost tisku ovlivněna velikostí tištěné plochy. To znamená, že nezáleží na tom, jestli bude pracovní plocha zcela nebo jen z poloviny zaplněna, rychlost tisku bude stále stejná, v tomto je velká výhoda této technologie. Touto technologií je také možnost tisku uzavřených prázdných dutin. [16]

Technologie FTI spočívá ve vytvrzování fotopolymeru vrstvu po vrstvě. Nejdříve přejede stěrač přes pracovní plochu vany pro materiál, tím se vytvoří tenký film polymeru. Platforma se přiblíží na vzdálenost tloušťky jedné vrstvy a následuje vytvrzení plochy tištěného dílu pomocí DLP projektoru, jak je vidět na obrázku níže (Obr. 17). Poté se platforma posune zpět, aby mohl stěrač znovu zarovnat materiál pro další vrstvu. Další vrstva se tvoří stejně, avšak platforma je posunuta o tloušťku vrstvy výš než při tvoření předchozí vrstvy. Materiál ve vaničce se doplňuje z kazety automaticky vždy, když je to potřeba. [15]

Materiál používaný pro tuto metodu se nazývá VisiJet® FTI. Je dodáván v 6 variantách ve dvoukilogramových kazetách. [15]



Obr. 17: Schématické zobrazení Film Transfer Imaging [15]

Ukázka vyrobené součásti

Součást vyrobená touto technologií je zobrazena níže. Model bloku motoru vyrobený z materiálu VisiJet® FTI Ivory (Obr. 18).



Obr. 18: Model bloku motoru [15]

2 POPIS ZAŘÍZENÍ PRO 3D TISK

Pro tištění víčka konektoru nabíjení byly použity tiskárny ProJet 1500 od výrobce 3D Systems a 3D tiskárna Xeed od výrobce LeapFrog. Obě zařízení jsou nově pořízené katedrou materiálů a technologií pro automobily. V následující kapitole popíší jednotlivá zařízení potřebná pro 3D tisk u obou tiskáren.

2.1 ProJet 1500

Celé pracoviště se skládá ze samotné 3D tiskárny, vytvrzovací jednotky, stolního počítače a oplachového pracoviště (Obr. 19).



Obr. 19: Pracoviště pro 3D tisk

2.1.1 3D tiskárna ProJet 1500

Tiskárna používá k tisku technologii Film Transfer Imaging (viz. kap. 1.4.3) ProJet 1500 (Obr. 20) je osobní tiskárna s elegantním designem, která je pro svou konstrukci vhodná do kanceláří.



Obr. 20: 3D tiskárna ProJet 1500 [26]

Tisk lze provádět ve dvou rychlostních režimech a to ve standardním a vysokorychlostním. Princip vysokorychlostního tisku je v tištění silnější vrstvy, oproti standardnímu režimu. Pro vysokorychlostní tisk lze použít jen materiál VisiJet® FTI Zoom. Rychlosti tisku i ostatní technické parametry tiskárny jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 1).

Tabulka 1: Technické parametry tiskárny ProJet 1500 [22]

ProJet® 1500		
Rozměry zařízení		555 x 914 x 724 mm
Hmotnost		55,3 Kg
Max. rozměry výrobku (xyz)		171 x 228 x 203 mm
Rozlišení		1024 x 768 DPI
Tloušťka vrstvy	standardní režim	102 µm
	vysokorychlostní režim	152 µm
Vertikální rychlost tisku	standardní režim	12,7 mm/hod
	vysokorychlostní režim	20,32 mm/hod
Min. vertikální tloušťka stěny		0,64 mm
Hlučnost		60 dBa

Materiál používaný k tisku u této tiskárny je dodáván ve formě dvoukilogramových kazet (Obr. 21). Jedná se o fotopolymer, který se vytvrzuje UV světlem.



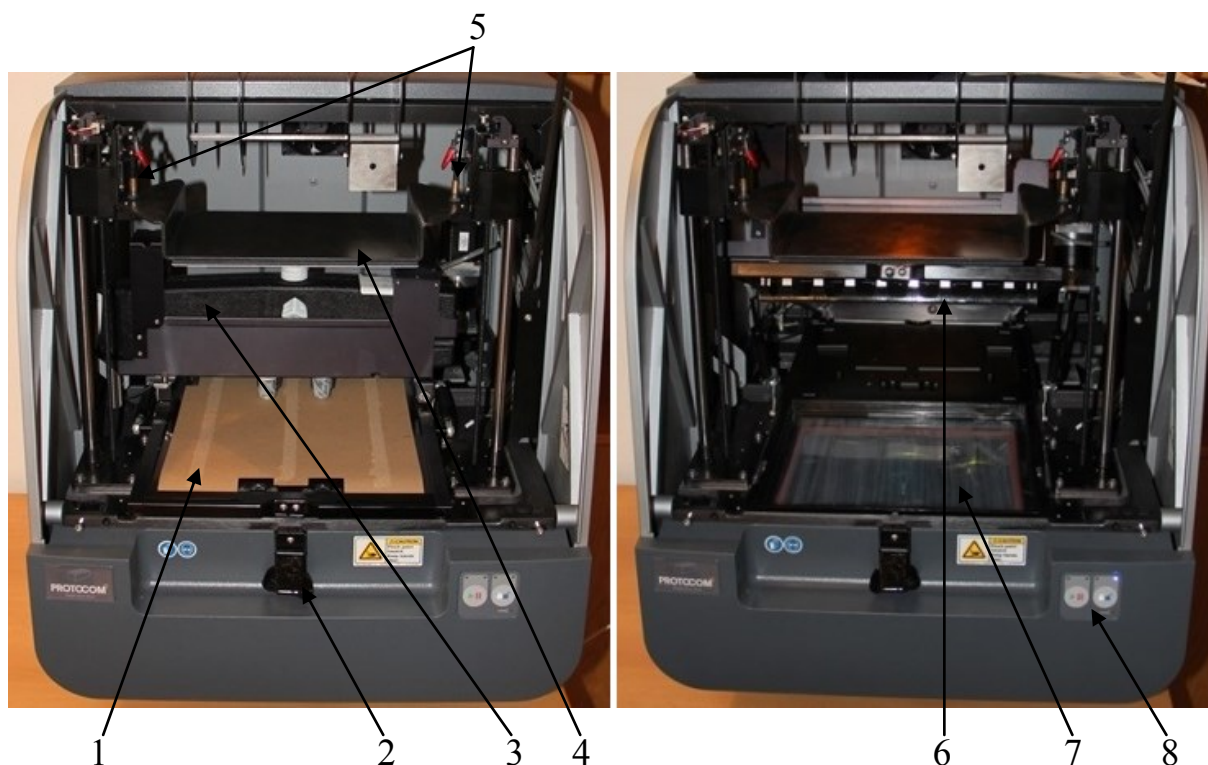
Obr. 21: Kazeta (Cartridge) s materiálem k tisku

3D Systems vyrábí pro tyto tiskárny materiál VisiJet® FTI, což je jeho obchodní název. Ve skutečnosti je to sloučenina materiálu Isobornylacrylate (15-25%), Tricyclodecanedimethanoldiacrylate (34-50%) a Urethaneacrylateoligomeris (30-40%). Tento materiál je dodáván v šesti barevných variantách a to: VisiJet® FTI Black, VisiJet® FTI Blue, VisiJet® FTI Gray, VisiJet® FTI Ivory, VisiJet® FTI Red a VisiJet® FTI Zoom. Technické parametry jednotlivých variant se mírně liší (Tab. 2).

Tabulka 2: Technické parametry materiálů [22]

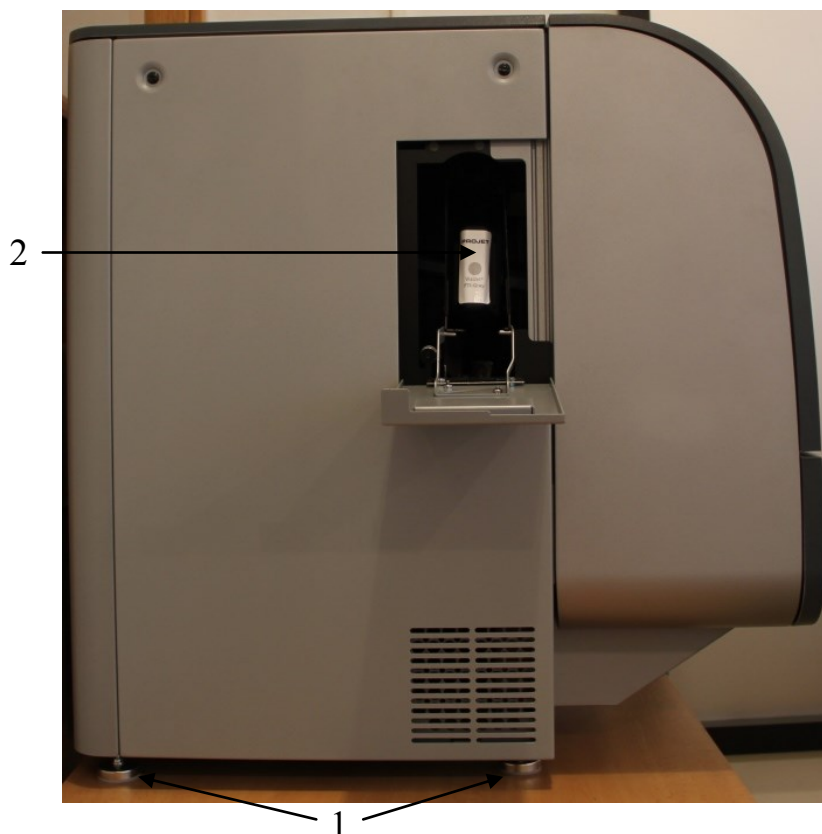
VisiJet® FTI						
Materiál	Ivory	Red	Gray	Blue	Black	Zoom
Hustota při 30 °C [g/cm]	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Pevnost v tahu [MPa]	12 - 22	8 - 18	8 - 18	10 - 24	13 - 25	15 - 29
Modul pružnosti v tahu [MPa]	800 - 1200	400 - 600	600 - 1000	600 - 1300	600 - 1000	800 - 1500
Prodloužení při přetržení [%]	2 - 3	2 - 4	2 - 3	2 - 3	2 - 4	2 - 3
Pevnost v ohybu [MPa]	23 - 34	16 - 22	20 - 36	13 - 29	19 - 34	29 - 53
Modul pružnosti v ohybu [MPa]	750 - 1100	500 - 700	700 - 1000	300 - 800	600 - 1000	900 - 1400
Teplota skelného přechodu [°C]	82	77	80	74	84	82

Tiskárna není příliš velká, může se postavit na stůl vedle osobního počítače, jak je zobrazeno na obrázku výše (Obr. 19). Dvířka jsou výklopná směrem nahoru, kvůli lepšímu přístupu do pracovního prostoru tiskárny. V tiskárně se nachází stavební platforma, na níž je nalepená tisková podložka, kterou je nutné při každém tisku měnit. Na přední straně tiskárny je ovládací panel sloužící pro uzamykání a odemykání vstupních dvířek a pro pozastavení tisku.



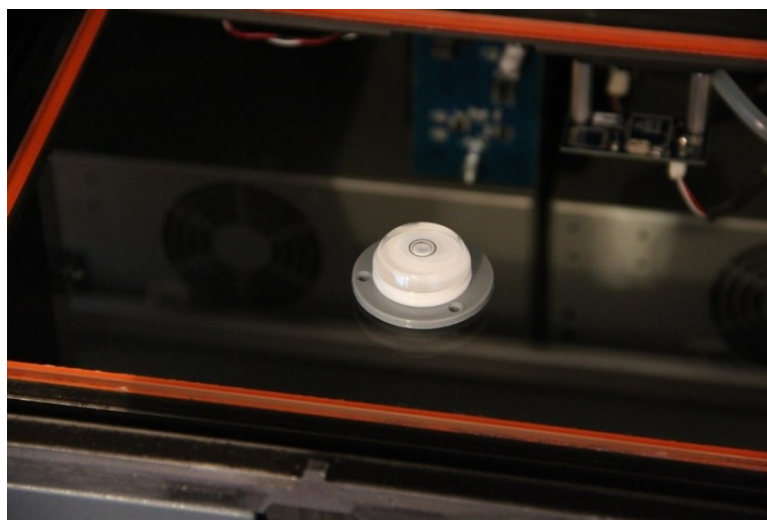
Obr. 22: ProJet 1500: 1 – Clona, 2 – Aretace rámu clony, 3 – Kazeta (Cartridge), 4 – Platforma, 5 – Aretace platformy, 6 – Stěrač, 7 – Vana pro materiál, 8 – Ovládací panel

Na obrázku (Obr. 22) je vidět uložení kazety s materiálem nad clonou. Clona slouží k zakrytí vaničky s materiálem k tisku před UV paprsky, které by způsobily tvrdnutí materiálu. Na cloně je nalepená papírová podložka, sloužící k zachycení případného odkapávajícího materiálu z ventilu kazety. Důležitou součástí je také stěrač umístěný na rámu clony zespodu, jenž je určen k zarovnání materiálu pro tisk aktuální vrstvy modelu.



Obr. 23: Pohled z boku: 1 – Stavitelné nožky, 2 – Uložení kazety s materiálem

Výměna kazety neboli cartridge je snadná díky dobrému přístupu. Vstupní otvor je na levém boku tiskárny (Obr. 23).

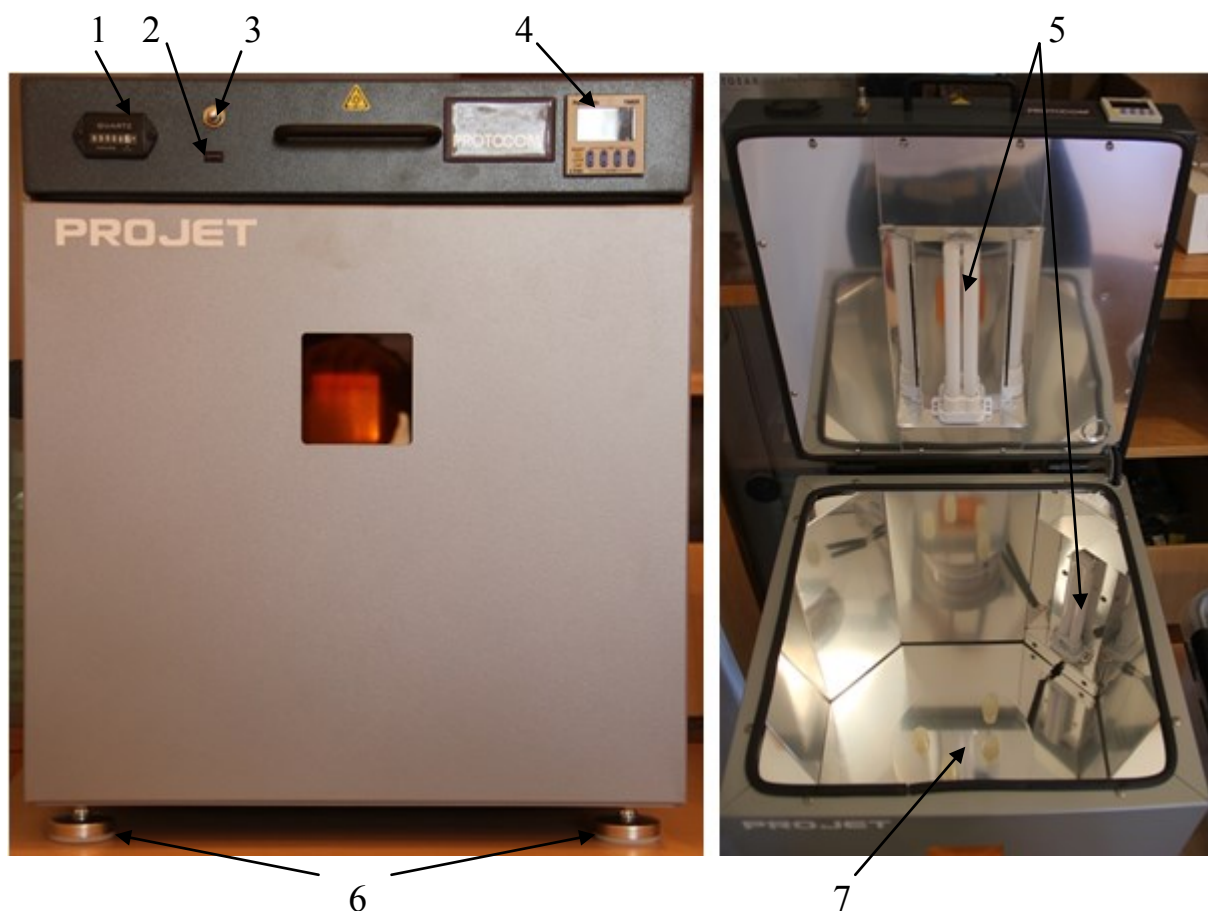


Obr. 24: Vodováha

Důležitou součástí jsou také 4 závitové nožky, jež jsou potřeba k nastavení tiskárny do vodorovné polohy pro bezchybný provoz zařízení (Obr. 23). Ke kalibraci tiskárny se používá vodováha umístěná na skle (Obr. 24).

2.1.2 Vytvrzovací jednotka ProJet

Vytvrzovací jednotka slouží pro vytvrzení již vytištěného modelu v 3D tiskárně. Hlavní části vytvrzovací jednotky jsou dvě UV lampy a otočný podstavec (Obr. 25), na který se umísťuje součást pro vytvrzení. Vnitřní prostor je obložen z vysoce reflexního materiálu pro lepší odrazové vlastnosti. K nastavení délky vytvrzování slouží časovač. Součástí zařízení jsou také provozní hodiny, které zaznamenávají celkovou dobu provozu vytvrzovací jednotky.



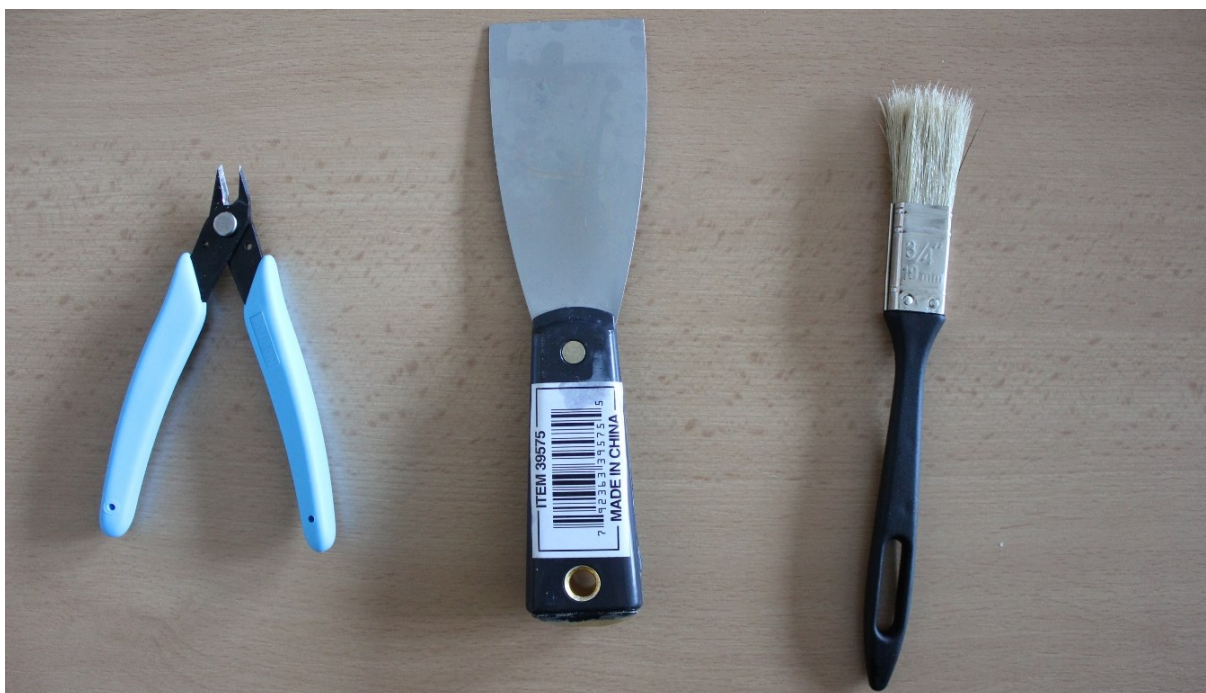
Obr. 25: Vytvrzovací jednotka ProJet: 1 – Počítadlo provozu, 2 – Indikace provozu, 3 – Hlavní vypínač, 4 – Časovač, 5 – UV lampa, 6 – Stavitelné nožky, 7 – Otočný podstavec

2.1.3 Oplachové pracoviště

Oplachové pracoviště (Obr. 26) slouží primárně k přípravě již vytištěného modelu pro následné vytvrzení. K oplachu se používá roztok pod názvem „CLEAN – A – PART“ (Propylalkohol), dodaný od výrobce tiskárny, a čistá voda. Součástí tohoto pracoviště jsou také nástroje (Obr. 27) na oddělení modelu od platformy a odstranění podpor (kleště, špachtle, štětec).



Obr. 26: Oplachové pracoviště



Obr. 27: Nástroje pro oplach a odstranění podpor

2.2 Xeed

Tato tiskárna Xeed (Obr. 28) používá k tisku technologii Fused Deposition Modeling (viz. kap. 1.2.1.). Princip technologie je odlišný od tiskárny ProJet 1500. Pro vytvoření prototypu není potřeba více zařízení, postačí pouze 3D tiskárna.



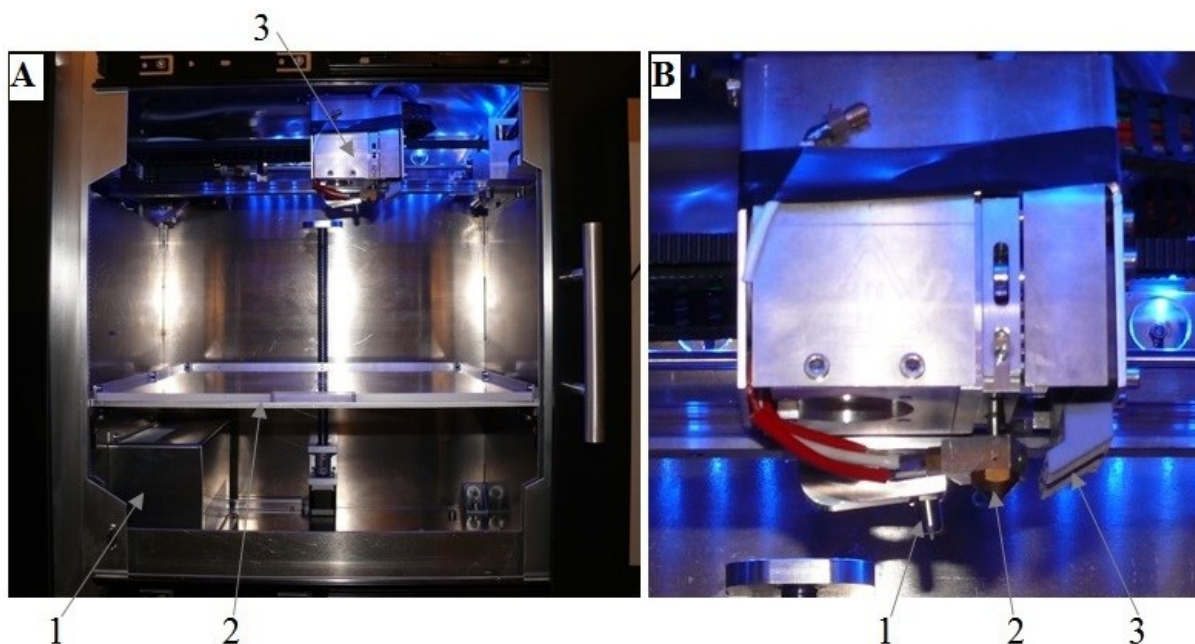
Obr. 28: Xeed

Tiskárna je opatřena LCD dotykovým panelem sloužícím pro ovládání tiskárny a zobrazení aktuálního stavu tisku. Tiskárna je vybavena bezdrátovým wifi připojením pro snadnější připojení k ovládacímu PC, USB vstupem a síťovým konektorem. Parametry tiskárny jsou zobrazeny v tabulce (Tab. 3)

Tabulka 3: Parametry tiskárny Xeed [25]

XEED			
Rozměry zařízení	900x580x640 mm	Počet extruderů	2
Stavební prostor [LxWxH]	350x270x220 mm	Rychlost osy X a Y	do 1 m/sec
Max. objem tisku	20.8 litrů	Rychlost vytlačování	do 170 mm/sec
Přesnost polohování	0.012 mm	Typ materiálu	ABS, PLA a PVA
Tloušťka vrstvy	0.05 -0.35 mm	Výrobní rychlost	1.785 cm ³ /min
Průměr extruderu	0.35 mm	Formát souboru	STL, G-code

V pracovním prostoru tiskárny (Obr. 29/A) se nachází plastová platforma. Pohybuje se ve vertikálním směru a při tisku je posouvána vždy o tloušťku aktuálně vytištěné vrstvy dolů. Samotný tisk zajišťuje vytlačovací hlava (Obr. 29/B), na které jsou dvě vytlačovací trysky (Extrudery). Nachází se zde také vývod ochlazování nasměrovaný na tištěnou část sloužící pro rychlejší ztuhnutí materiálu. Na tiskové hlavě je také umístěn senzor, který je určen pro kalibraci polohy platformy vůči tiskové hlavě.



Obr. 29: A - Pracovní prostor tiskárny: 1 – Vyhřívání pracovního prostoru, 2 – Platforma, 3 – Vytlačovací hlava, B - Vytlačovací hlava: 1 – Kalibrační čidlo, 2 – Dvě vytlačovací trysky, 3 – Vývod ochlazování

Jak jsem se již zmínil výše, tiskárna je opatřena dvěma extrudery, což je při tisku výhodné. Díky tomuto lze kombinovat při tisku dvě různé barvy anebo dva různé materiály. Například jako stavěcí materiál použijeme PLA a na podpory PVA. Vzhledem k tomu, že PVA je rozpustný ve vodě a při odstraňování nezanechává žádné stopy na povrchu součástí, tak výsledná součást v místě styku s podporami bude mít lepší kvalitu povrchu a bude snazší odstraňování těchto podpor.

K tisku je používán materiál v pevném stavu ve formě drátu namotaný na cívce o hmotnosti 1 Kg (Obr. 30). Průměr drátu je 1,75 mm. Materiál dodávaný výrobcem k tisku je ABS, PLA a PVA. ABS a PLA je v různých barevných variantách.



Obr. 30: Cívka s materiálem

- **Acrolonitril-Butan-Styren (ABS)**

Jeho velkou výhodou je nejnížší závislost na přesném nastavení tiskové hlavy, odolnost výtisků a přijatelný sklon ke kroucení. Přesto tento materiál nelze doporučit pro běžný tisk velkých objektů, tedy objektů přesahujících svým nejdelším rozměrem 80 mm.

Tiskové teplota je 220-260 °C. Tento materiál lze snadno opracovávat broušením. Po použití základního nástřiku na plasty je možné i lakování. Při tisku je vždy třeba tisknout na základní mřížku, protože i menší objekty mají tendenci se snadno odtrhnout od tiskové platformy.

- **Poly Lactic Acid (PLA)**

PLA je univerzální tiskovým materiálem, vhodným i pro tisk velkých objektů. Jeho předností je malý sklon ke kroucení, díky nižší tiskové teplotě, která je 190 až 220 °C. Po tisku lze tento materiál opracovávat běžnými postupy, nicméně díky nízkému tavnému bodu je nelze dobře například strojově brousit. Ruční broušení je možné prakticky bez omezení, materiál lze i lakovat. Jedná se o plně biologicky odbouratelný materiál, vyráběný z kukuřičného škrobu či z cukrové třtiny.

- **Polyvinylalkohol (PVA)**

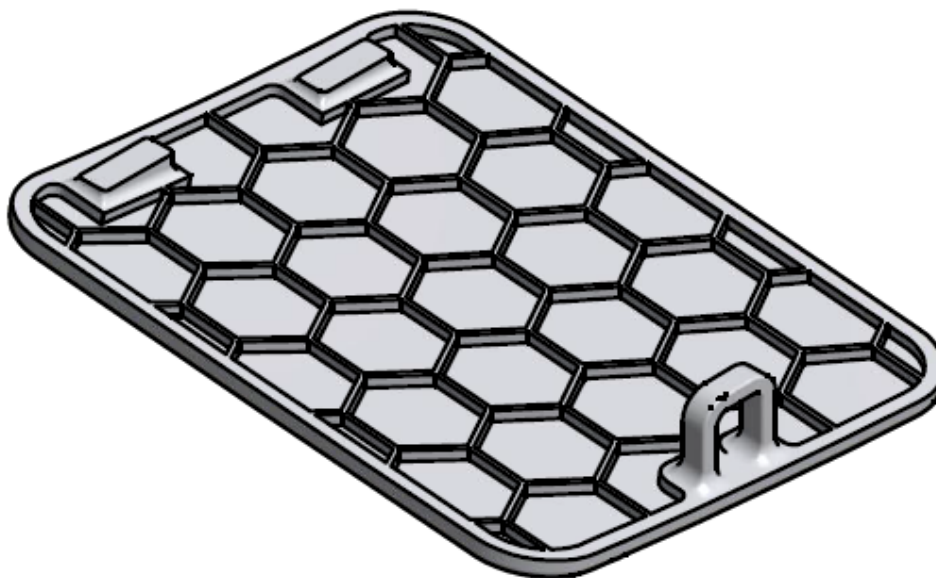
PVA je ve vodě rozpustný syntetický polymer. Slouží jako podpurný materiál pro tištěný model z ABS nebo PLA. [15]

3 REALIZACE TISKU DANÉ SOUČÁSTI

Pro tisk jsem si zvolil víčko konektoru dobíjení (Obr. 31) pro aktuálně vyvíjený elektromobil na katedře materiálů a technologií pro automobily. V této části budou popsány jednotlivé kroky nutné pro zdárné vytvoření dílu na obou tiskárnách (Tab. 4).

Tabulka 4: Pořadí prováděných kroků

Pořadí	ProJet 1500	Xeed
1.	Převod modelu do STL formátu	
2.	Příprava tiskárny pro tisk	Příprava tiskárny pro tisk
3.	Nastavení parametrů tisku	Nastavení parametrů tisku
4.	Průběh tisku	Průběh tisku
5.	Oplach součásti	Odstranění podpor
6.	Vytvrzení součásti a odstranění podpor	
7.	Dokončovací operace	



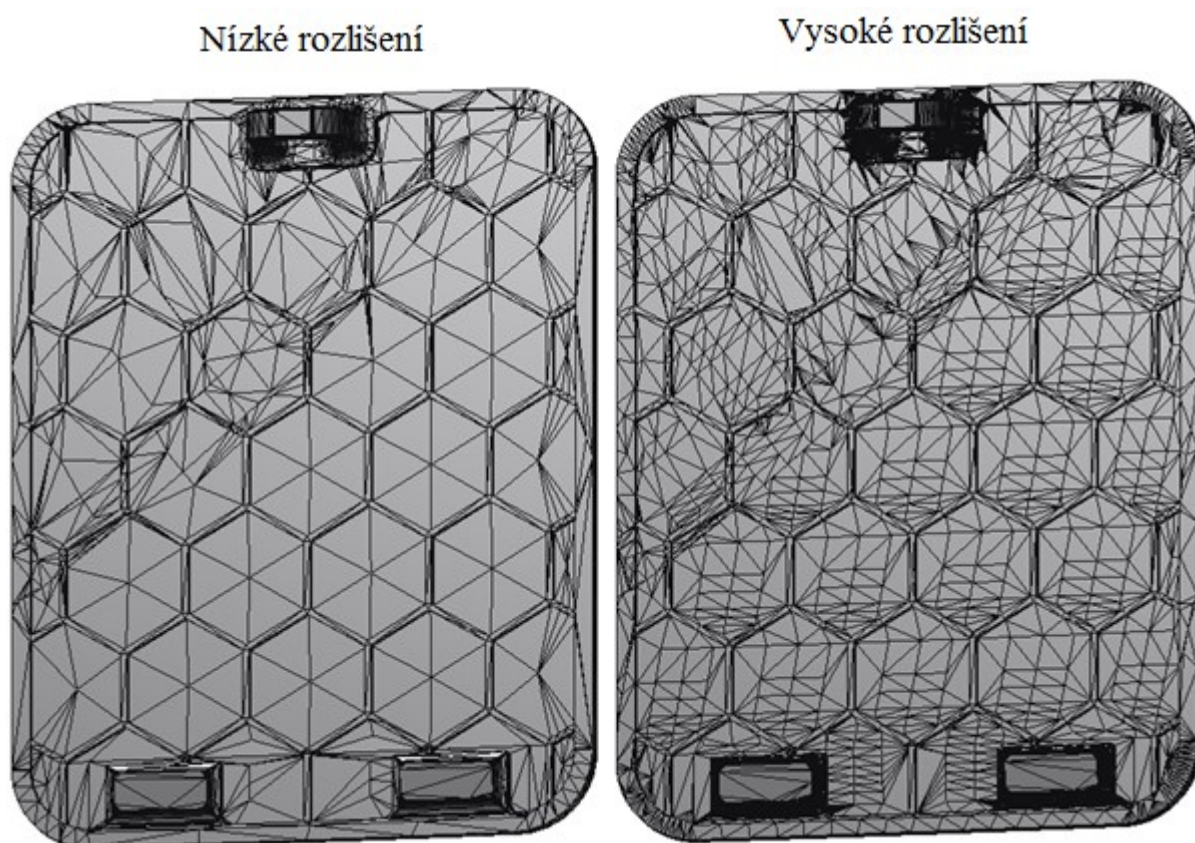
Obr. 31: 3D model víčka

První krok tj. převod modelu do STL formátu je shodný pro obě tiskárny.

3.1 Převod modelu do formátu STL

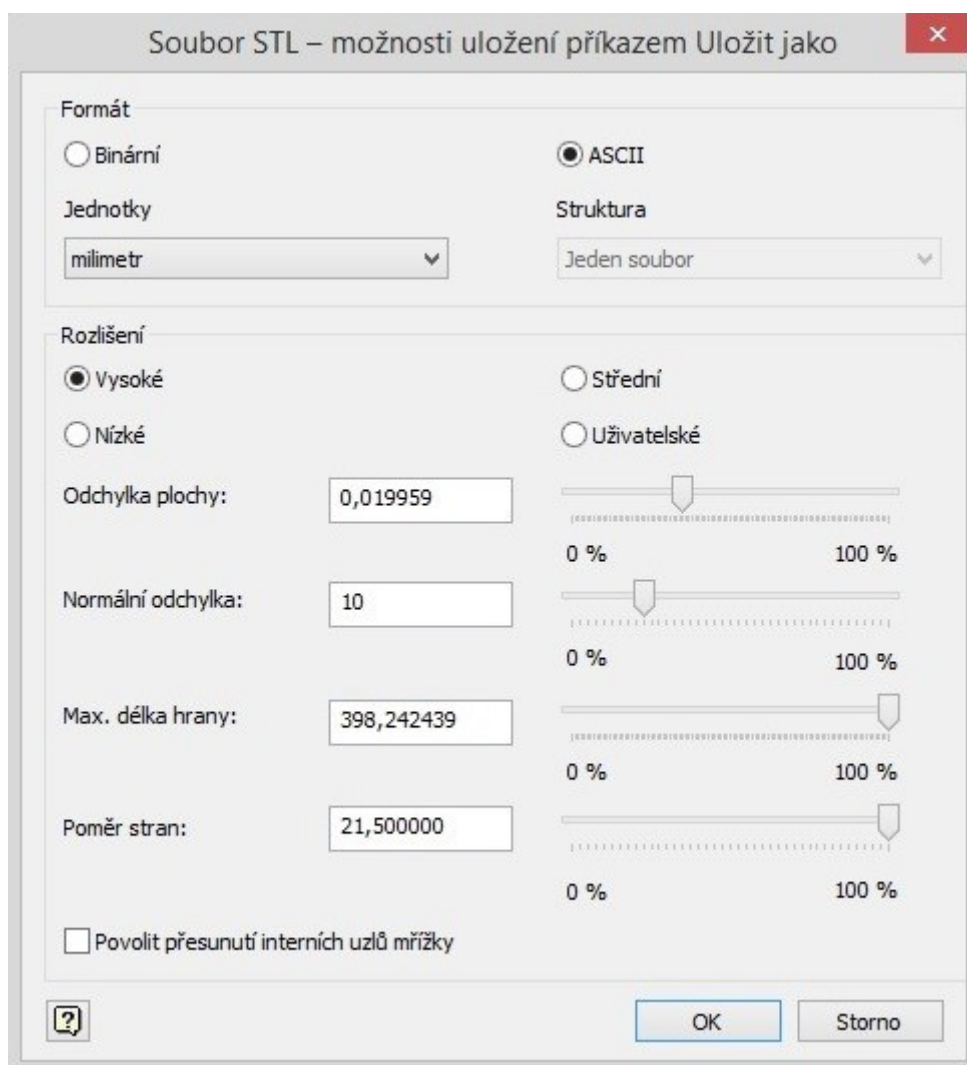
Odlišné CAD softwary ukládají geometrická data představující 3D model různě, proto je nutné převést je do jednotného formátu určeného pro 3D tisk a to do formátu STL. Původně byl vyvinut pro stereolitografii (viz kapitola 1.4.2), ale nyní je to standardní formát souborů pro 3D tisk.

Formát STL se skládá z polygonové optimalizované sítě vhodné pro 3D tisk a je možné ho ukládat ve dvou typech. První je ASCII, jež je výhodný svou přehledností zápisu, méně výhodné je již větší velikost výsledného souboru. Druhý typ je binární formát. Důležité je také nastavení rozlišení STL formátu. Na obrázku (Obr. 32) je vidět rozdíl ve dvou rozdílných nastavení rozlišení. [23][25]



Obr. 32: Rozlišení formátu STL

Víčko konektoru dobíjení bylo vytvořeno v programu Autodesk Inventor 2013. Převod do STL se provede následujícím způsobem. V programu zvolíme položku „uložit jako“ a vybereme možnost uložení do formátu STL, v možnostech uložení si můžeme zvolit buď binární anebo ASCII. Dále si nastavíme rozlišení, které ovlivňuje kvalitu tisku součásti (Obr. 33). Pro můj případ (víčko) byl zvolen formát ASCII ve vysokém rozlišení. Dále nesmíme zapomenout zadat stejné jednotky, jaké byly použity při tvorbě 3D modelu a to z důvodu správného měřítka tištěného modelu. V tomto případě bylo víčko vytvořeno v milimetrech. Tímto je převod ukončen a soubor je připraven k exportu do softwaru pro 3D tisk.

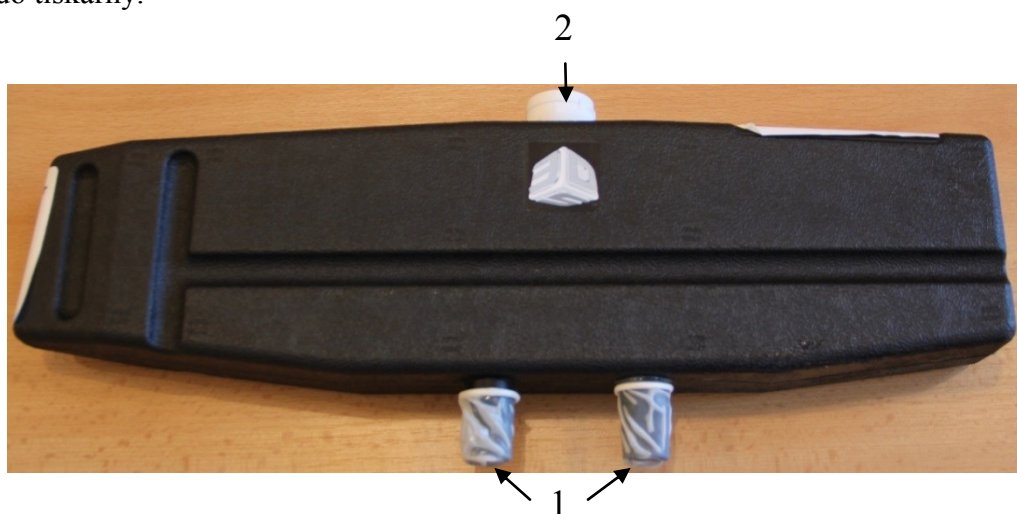


Obr. 33: Uložení do formátu STL

3.2 Projekt 1500

3.2.1 Příprava tiskárny pro tisk

Před tiskem je nutné zkontrolovat množství materiálu ve vaničce a při jeho nedostatku je nutné jej doplnit. Při nedostatečném množství materiálu může docházet k vytvoření nerovnoměrné vrstvy a tím i k nedokonalému vytvoření aktuálně tištěné vrstvy. Dalším krokem je instalace kazety. Před vložením kazety do 3D tiskárny je nutné kazetu promíchat, odstranit silikonové krytky ventilů, otevřít podtlakový ventil (Obr. 34) a až poté se může vložit do tiskárny.



Obr. 34: Kazeta s materiálem: 1 – Krytky ventilů, 2 – Podtlakový ventil

Dále se instaluje platforma (Obr. 35) s novou tiskovou podložkou do držáku uvnitř zařízení a zajistí se aretačními packami.



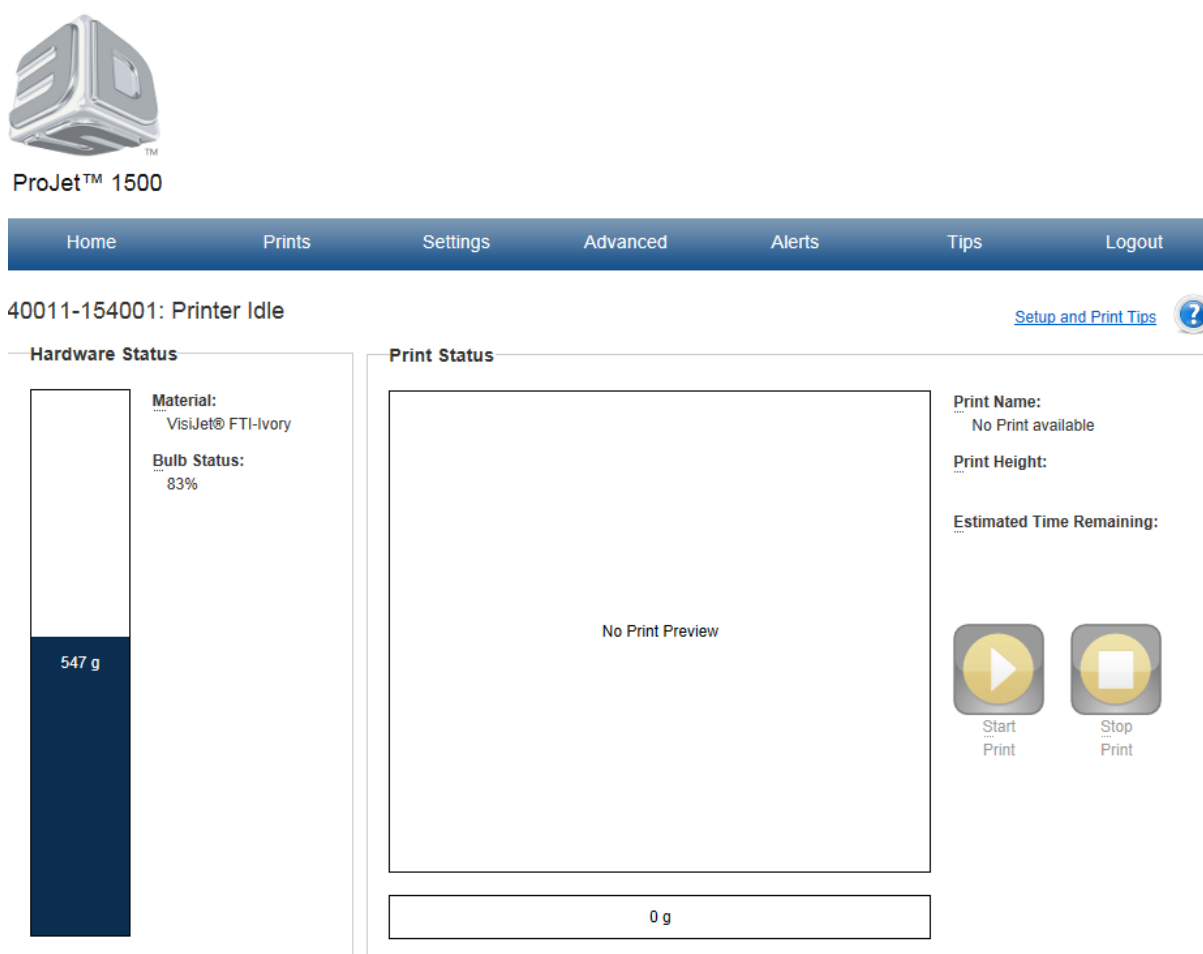
Obr. 35: Platforma s tiskovou podložkou

Po dokončení těchto kroků je tiskárna připravena k tisku součásti.

3.2.2 Nastavení parametrů tisku

Tiskárna je ovládána přes stolní počítač připojený pomocí síťového kabelu a ovládá se přes uživatelské rozhraní. Nastavení parametrů tisku probíhá v programu PrintPreview.

Uživatelské rozhraní slouží primárně k ovládání tiskárny, sledování průběhu tisku a k diagnostice zařízení. Na obrázku (Obr. 36) je vidět hlavní stránka, na které jsou zobrazeny základní informace pro tisk. Je zde vidět množství materiálu v kazetě, množství spotřebovaného materiálu, dále tlačítka start a stop tisku a hlavní navigační panel.

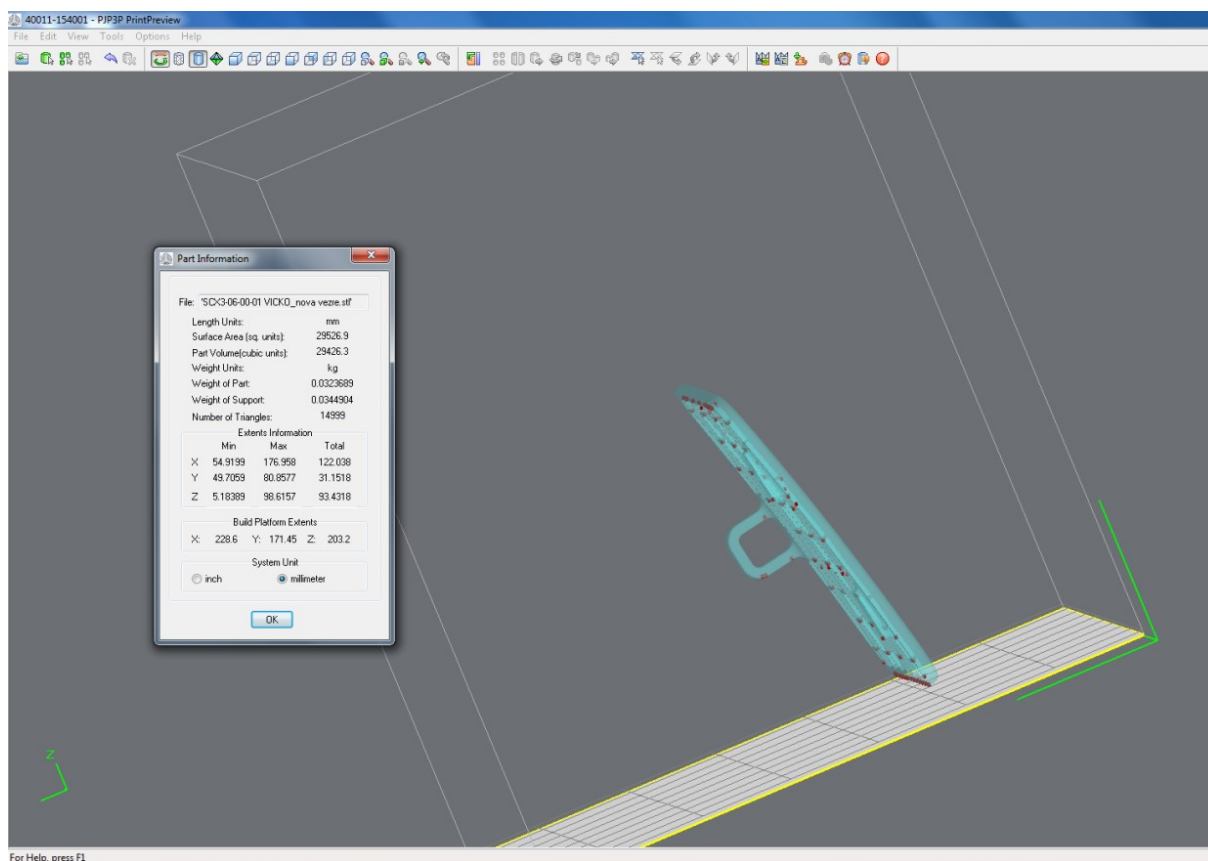


Obr. 36: Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní se spouští přes libovolný internetový prohlížeč. Do prohlížeče zadáme adresu <http://40011-154001> a přihlásíme se pod svým přihlašovacím jménem a heslem. Pro založení nového projektu klikneme na „Prints“ a zvolíme „New“. Zadáme název projektu, zvolíme si rychlost tisku a druh materiálu.

Tisk probíhal standartní rychlostí (12,7 mm/hod) a materiál byl použit VisiJet® FTI Ivory. Po založení projektu jsme automaticky přesměrováni do programu PrintPreview.

V tomto programu se vhodně umístí model v prostoru vůči spodní straně, která představuje pracovní plochu (tiskovou podložku) v tiskárně, jak je vidět na obrázku (Obr. 37). Pracovní plocha je ohraničena krychlí, která představuje maximální rozměry jaké je tiskárna schopna vytisknout. Po vhodném umístění modelu se automaticky vygenerují podpory nutné k přidržení modelu ve správné poloze při tisku, nelze je odstraňovat nýbrž pouze přidávat. Na obrázku (Obr. 37) jsou vyobrazeny červenými tečkami na modelu víčka.



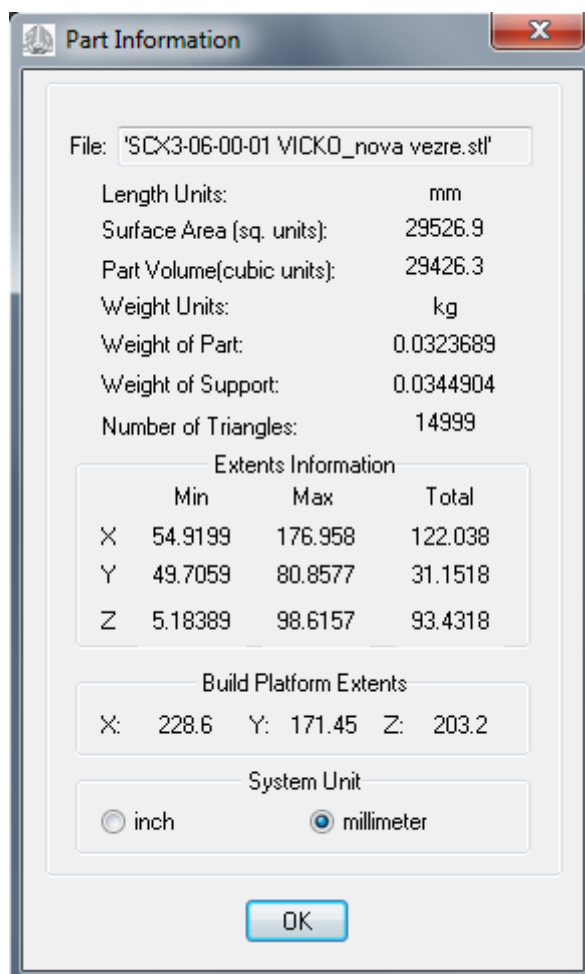
Obr. 37: PrintPreview

Nejdříve importujeme soubor do PrintPreview. K importu souboru použijeme ikonu v hlavním navigačním panelu „addfiles“. 3D model si vhodně napolohujeme. K tomu slouží ovládací tlačítka, která jsou vidět na obrázku (Obr. 38).



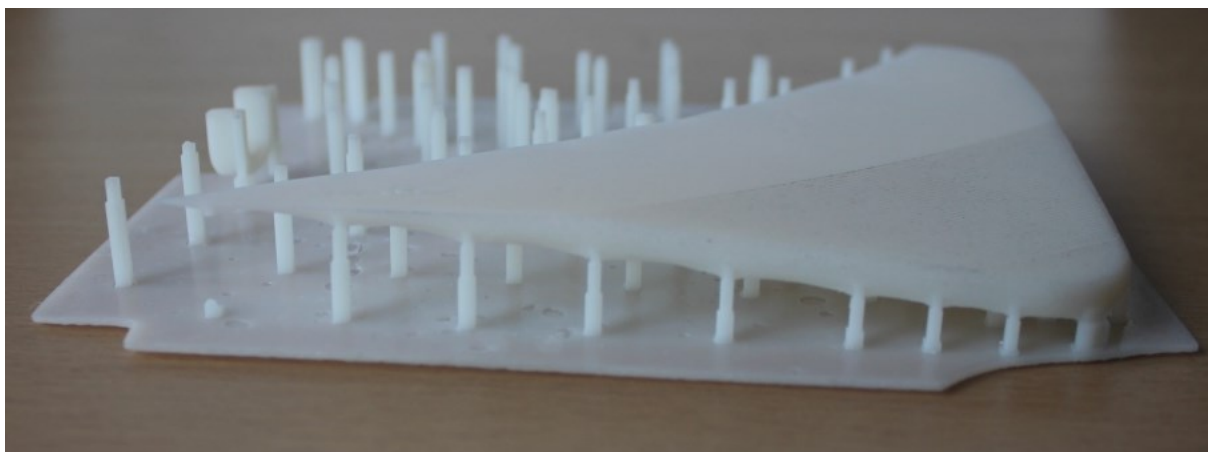
Obr. 38: Ovládací panel

Před uložením si lze prohlédnout v tabulce parametry napoložovaného 3D modelu. Jsou zde uvedeny například vypočtené hmotnosti podpor a součásti, souřadnice XYZ polohy součásti a mnoho dalšího (Obr. 39). Také si můžeme zobrazit vypočtený čas tisku.



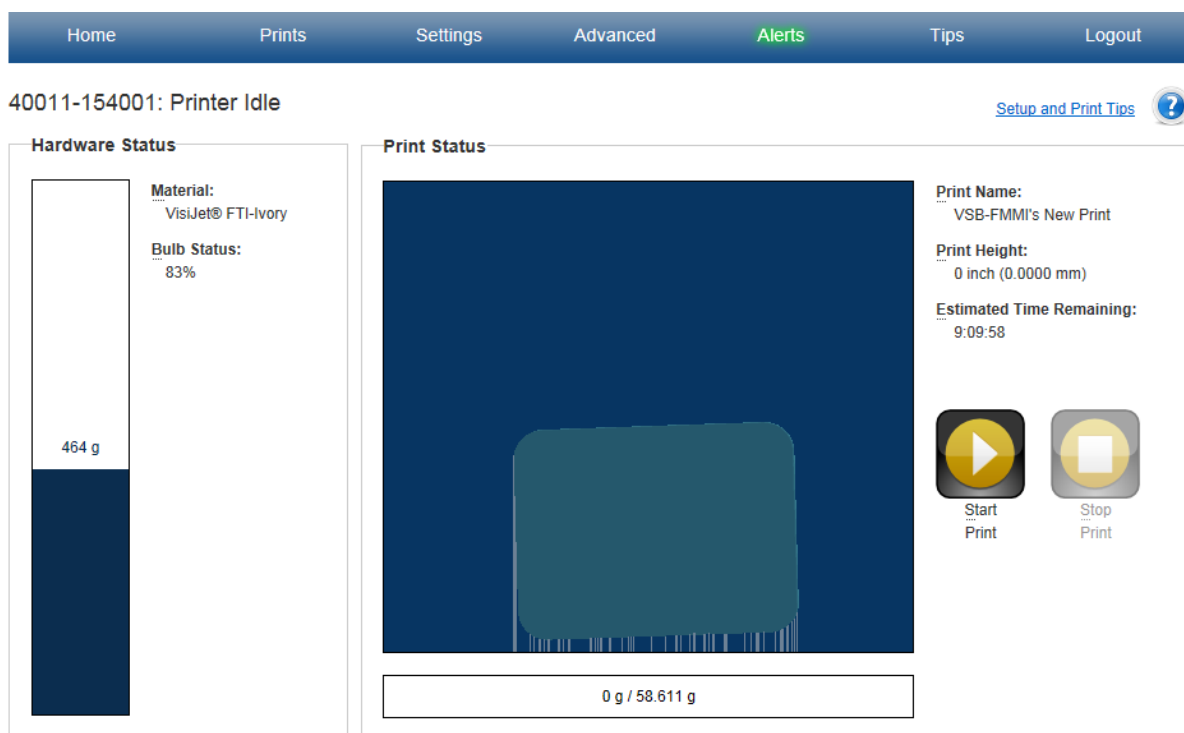
Obr. 39: Parametry dílu

Při první pokusu tisku bylo víčko umístěno horizontálně, aby tisk trval co nejkratší dobu. Jenže došlo k neočekávanému přerušení tisku uprostřed procesu (Obr. 40). Problém je v tom, že nelze na tisk dílu navázat, jestliže se tisk nečekaně přeruší. Lze to jen tehdy, když proces samy pozastavíme. Při dalším nastavení polohy víčka jsem se rozhodl umístit ho vertikálně (Obr. 37). Bylo to z důvodu, aby se přesněji vytvořili rádiusy a různá zakřivení na součásti. Nevýhodou je delší čas tisku.



Obr. 40: Nedotištěné víčko

Jakmile jsme spokojeni s umístěním, zmáčkneme tlačítko „Generate and Preview Supports“, tím se automaticky vypočítají podpory nutné pro tisk. Poté, pokud jsme s výsledkem spokojeni, klikneme na „Create Job and Return to Web Browser“, proběhne výpočet rozvrstvení modelu na jednotlivé vrstvy a odešlou se data do tiskové fronty. Automaticky se ukončí PrintPreview a zobrazí se již připravený 3D model v uživatelském prostředí. Nyní je víčko připraveno na tisk (Obr. 41).

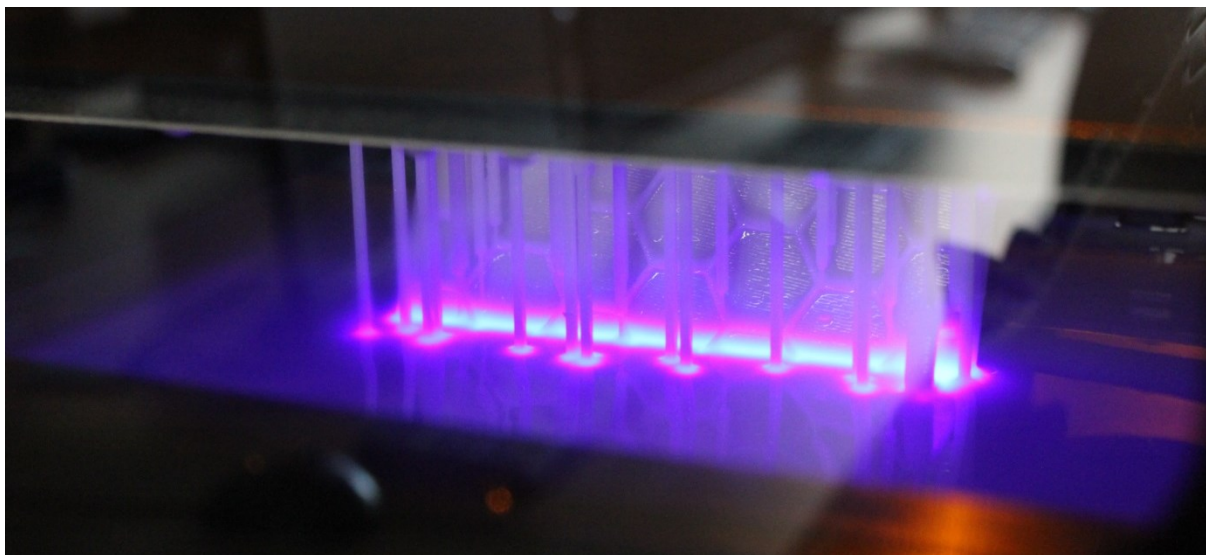


Obr. 41: Připravené víčko k tisku

3.2.3 Průběh tisku

Tisk zahájíme stisknutím tlačítka „Start Print“ (Obr. 41). Během 3D tisku se prakticky nemusíme o nic starat, 3D tiskárna celý proces tisku provede automaticky.

V první fázi se tiskárna inicializuje. Poté začne s tiskem tenké základny, sloužící pro dobré přilnutí tištěného modelu k tiskové podložce. Následuje tisk podpor a víčka vrstvu po vrstvě až do dokončení celé součásti.



Obr. 42: Průběh tisku

Na obrázku (Obr. 42) je vidět vytvrzování aktuálně tištěné vrstvy. Je vidět, že celá vrstva je vytvrzována najednou. Toto je výhoda této technologie, která se více projeví při tisku více součástí najednou, a to úsporou času. Tisk víčka trval 8 hodin a 27 minut.

3.2.4 Oplach součásti

Oplach vytištěné součásti se provádí kvůli odstranění přebytečného kapalného materiálu, který ulpěl při tisku na součásti. Pokud bychom dali díl po vytištění ihned do vytvrzovací jednotky přebytečný materiál by se také vytvrdil, ale vznikly by nepřesnosti a případné následné dokončení (broušením) by bylo náročnější.

Oplachové pracoviště se skládá ze dvou plastových boxů. Příprava oplachového pracoviště spočívá v tom, že do prvního boxu nalejeme obsah jedné láhve s čistícím roztokem „CLEAN – A – PART“ (Propylalkohol) a do druhého čistou vodu.

Z 3D tiskárny vyjmeme platformu s vytištěným dílem. Nejprve důkladně opláchneme celou součást štětcem v čistícím roztoku (Obr. 43).



Obr. 43: Oplach v čistícím roztoku

Poté odstraníme z platformy vytištěný díl pomocí špachtle (Obr. 44) a důkladně omyjeme celou platformu.



Obr. 44: Oddělení součásti od platformy

Nakonec omyjeme vytištěnou součást v druhém boxu s čistou vodou (Obr. 45). Necháme díl důkladně proschnout pro následné vytvrzení. Voda vytvrzování nevadí, ale na povrchu dílu by se mohly objevit bílé „mapy“.



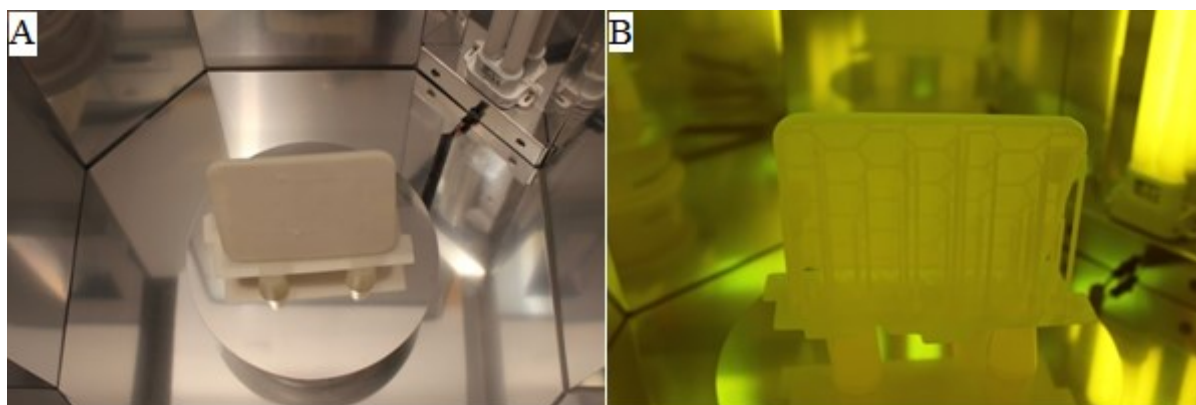
Obr. 45: Oplach vodou

Tímto je díl připraven na proces vytvrzení, který je popsán v následující kapitole.

3.2.5 Vytvrzení součásti a odstranění podpor

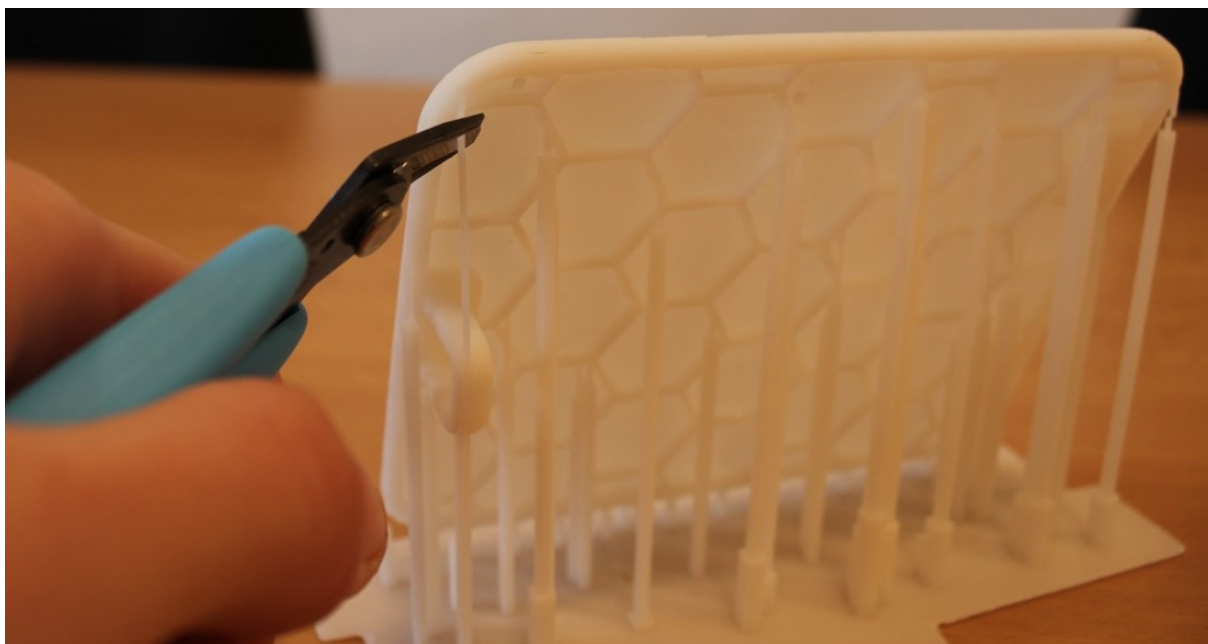
Víčko se umístí na gumové podložky (i s podporami) na otočném podstavci (Obr. 46/A). Podpory můžeme odstranit buď před vytvrzováním nebo je tam ponechat a odstranit až po vytvrzení, což je vhodnější z důvodu lepší odstranitelnosti. Doba vytvrzení závisí na velikosti a tvarové složitosti modelu. Obecně lze říci, že čím větší model je, tím delší dobu potřebuje pro vytvrzení. Během vytvrzovacího procesu je také vhodné součást otočit aby se UV paprsky dostaly na celou součást rovnoměrně.

V první části bylo víčko vytvrzováno 10 minut i s podporami (Obr. 46/B).



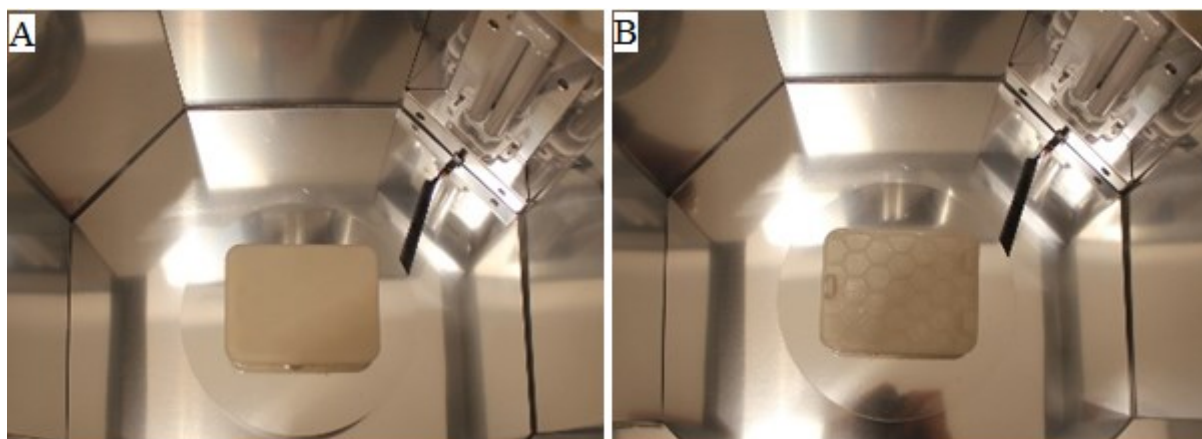
Obr. 46: A - Umístění víčka ve vytvrzovací jednotce, B - Proces vytvrzování

Poté následovalo odstranění podpor pomocí speciálních kleští (Obr. 47) k tomu určených anebo prostým odlomením rukou.



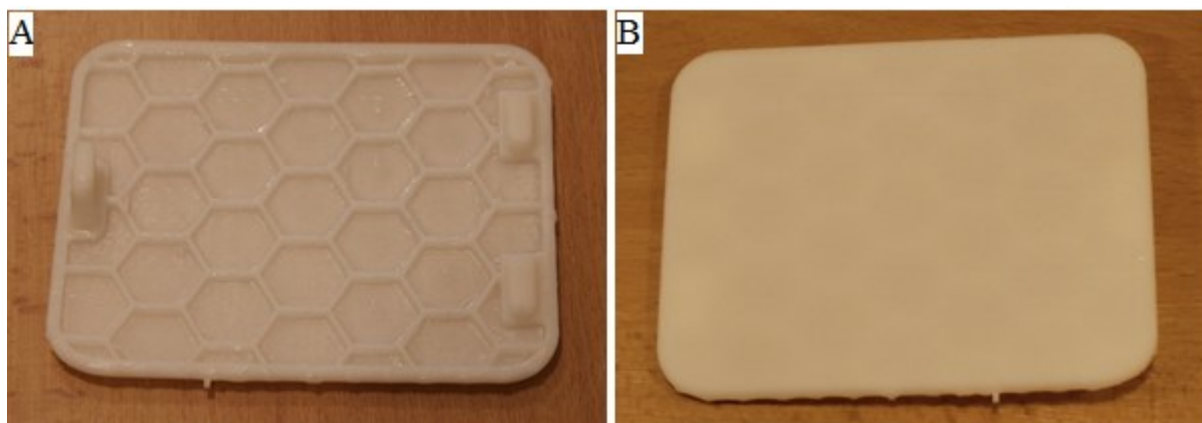
Obr. 47: Odstranění podpor

Po odstranění podpor bylo víčko dále vytvrzováno 10 minut (Obr. 48/A). A na posledních 10 minut vytvrzování se součást otočila (Obr. 48/B). Celkový čas vytvrzování byl tedy 30 minut.



Obr. 48: Umístění víčka ve vytvrzovací jednotce

Vytvrzené víčko s odstraněnými podporami je vyobrazeno níže ze spodní (Obr. 49/A) a vrchní (Obr. 49/B) strany.



Obr. 49: A - Vzhled víčka ze spodní strany, B - Vzhled víčka z vrchní strany

3.2.6 Dokončovací operace

Dokončovací operace jsou prováděné za účelem zlepšení povrchových a estetických vlastností součástí.

Na vytištěném víčku jsou vidět drobné nedostatky tisku, jako jsou různé vrypy a výstupky. Také je patrná typická schodovitá struktura povrchu vyplývající z podstaty aditivní výroby. Tyto schody jsou závislé na tloušťce vrstvy a orientaci tištěného modelu. U této tiskárny je tloušťka vrstvy 0,102 mm. Jestliže je součást určena jen pro kontrolu designu anebo kontroly geometrie, tak dokončovací operace provádět nemusíme. V případě víčka, které bude použito v praktické aplikaci, je nutné provést následné dokončovací práce pro zlepšení výsledného povrchu. Víčko bude v budoucnu opatřeno barevným lakem (černá magická metalíza - 9910/F9R/1Z1Z) a následně budou přilepeny panty. Z tohoto důvodu je nutné víčko pečlivě zbavit nerovností a zbrousit povrch do hladka.

Plastové prototypy z 3D tiskárny je možno dokončit tmelením, broušením a lakováním tak, aby povrch odpovídal našim potřebám.

BROUŠENÍ

Ze všeho nejdříve jsem pomocí jemného pilníku odstranil hrubé výstupky vzniklé převážně z nedokonale odstraněných podpor. Poté jsem použil brusné papíry o různých zrnitostech k vyhlazení povrchu do hladka. Broušení jsem začal s papírem o zrnitosti P400 přes P600 až po P800. Celý proces probíhal broušením pod vodou. Broušením se povrch vyhladil, ale zůstaly viditelné hlubší rýhy (Obr. 50), které se zbrousit nedaly, jelikož tloušťka stěny víčka je pouhé 2 mm. Proto je nutné před lakováním tyto rýhy vyplnit.

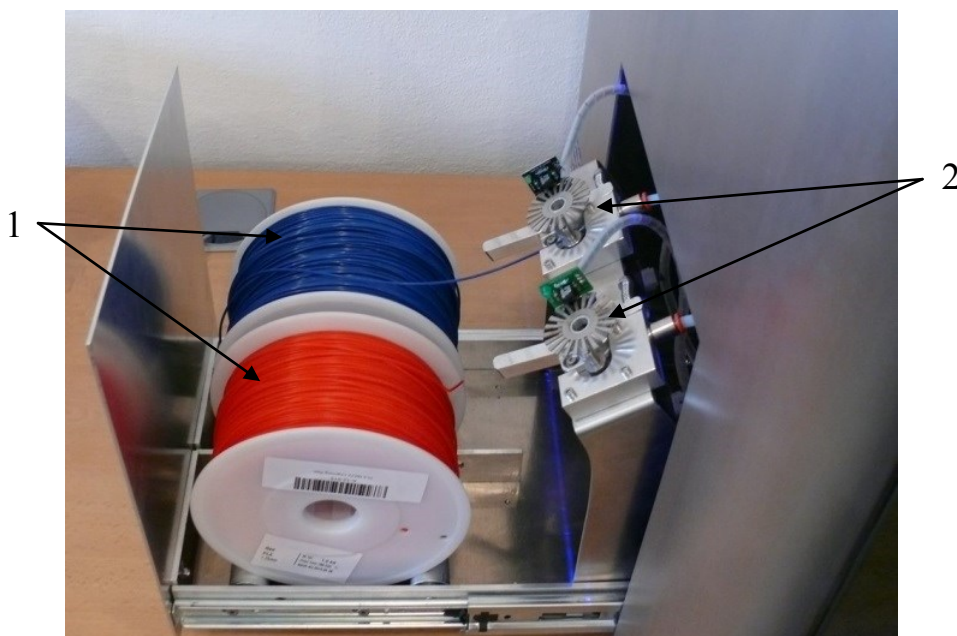


Obr. 50: Přebroušené víčko

3.3 Xeed

3.3.1 Příprava tiskárny pro tisk

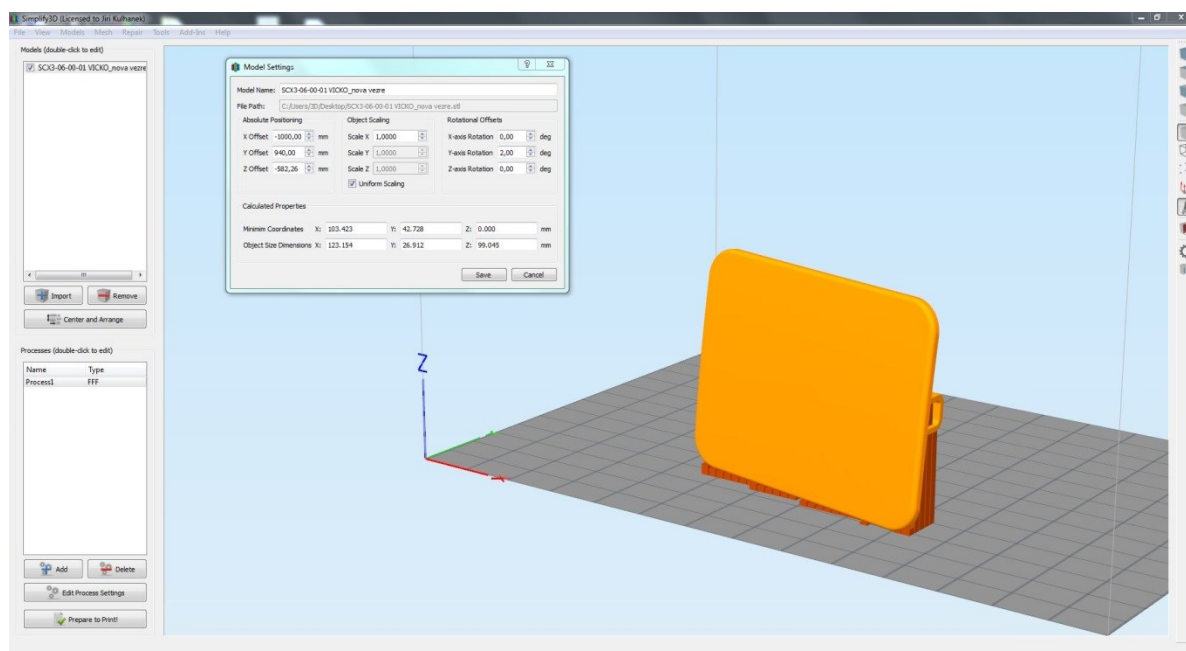
Před tiskem je nutné instalovat do tiskárny cívku s požadovaným materiálem (Obr. 51). Prostor pro cívky je na levé straně tiskárny. Cívka je uložena na dvou válcích, které zajišťují její jednodušší odvíjení při tisku. Plastový drát je nutné navinout do posuvníku zajišťující dopravu drátu do tiskové hlavy, kde je také počítadlo spotřeby materiálu.



Obr. 51: Instalace cívek s materiálem: 1 – Cívky s materiálem, 2 – posuvník s počítadlem

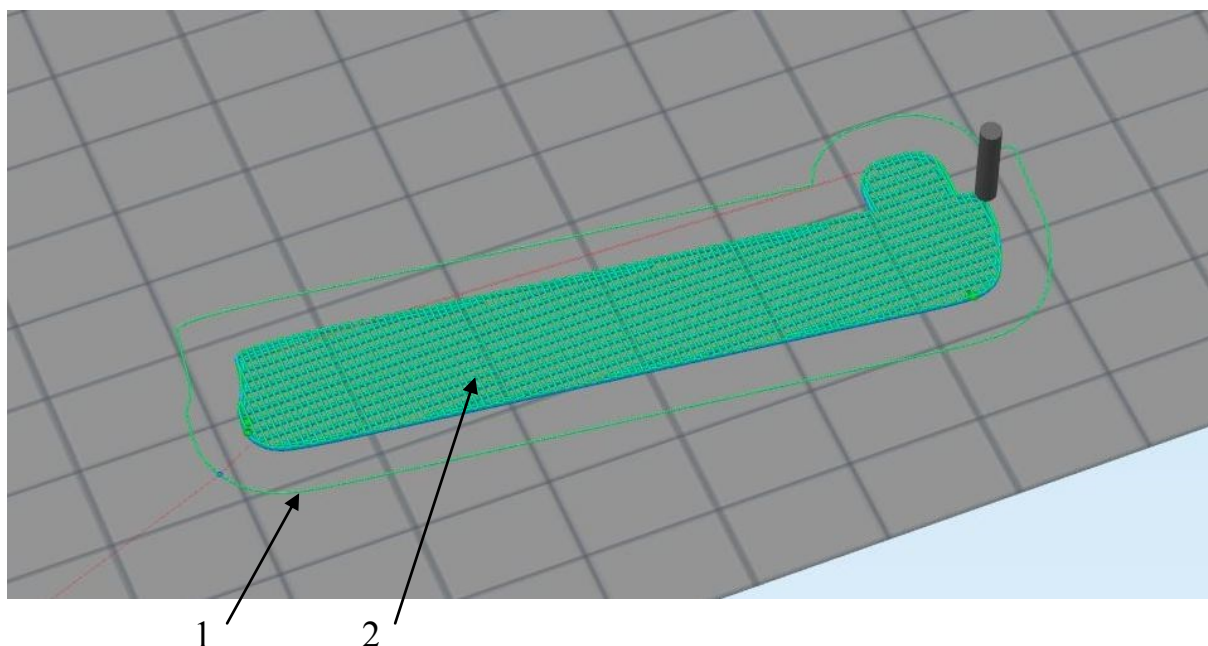
3.3.2 Nastavení parametrů tisku

Tiskárna se ovládá pomocí LCD panelu umístěného na tiskárně, který slouží také pro sledování parametrů tisku (teplota extruderu, čas dokončení, spotřeba materiálu, atd.) při tištění. Nastavení parametrů tisku se provádí v programu Simplify 3D. Po propojení tiskárny a stolního počítače, kde je nainstalován tento program, může být tiskárna ovládána a také zde mohou být sledovány parametry tisku.



Obr. 52: Simplify 3D – nastavení polohy víčka

Nastavování začneme importem STL souboru víčka do programu Simplify 3D. Poté si ho vhodně napolohujeme v pracovním prostoru (Obr. 52). Rychlost tisku není ovlivněna orientací součásti, ale jeho objemem. Orientace součásti ovlivňuje výslednou pevnost a vzhled. Následuje nahrání souboru, který dodal výrobce tiskárny. Vybereme ho podle druhu materiálu (PLA), kterým budeme tisknout. Soubor obsahuje data s přednastavenými parametry tisku (teplota extruderů, rychlost tisku, atd.). Jakmile jsme spokojeni, klikneme na tlačítko „Prepare to print“, kde se nastavují parametry tisku. V této části je spousta nastavení, kterými lze ovlivnit jak kvalitu výsledné součásti, tak rychlost vytvoření součásti. V tomto nastavení jsem si zvolil tisk jednou vytlačovací tryskou (tisk podpor i víčka je z jednoho materiálu). Teplotu trysky jsem nastavil na 200 °C, výšku vrstvy na 0,25 mm. Zvolil jsem si ještě funkci „Skirt“ a „Raft“ (Obr. 53). Skirt je lem kolem víčka, který slouží pro lepší začátek procesu vytlačování. Raft jsem přidal za účelem lepší odstranitelnosti součásti od platformy po dokončení tisku. Ostatní parametry jsem ponechal dle přednastavených hodnot.

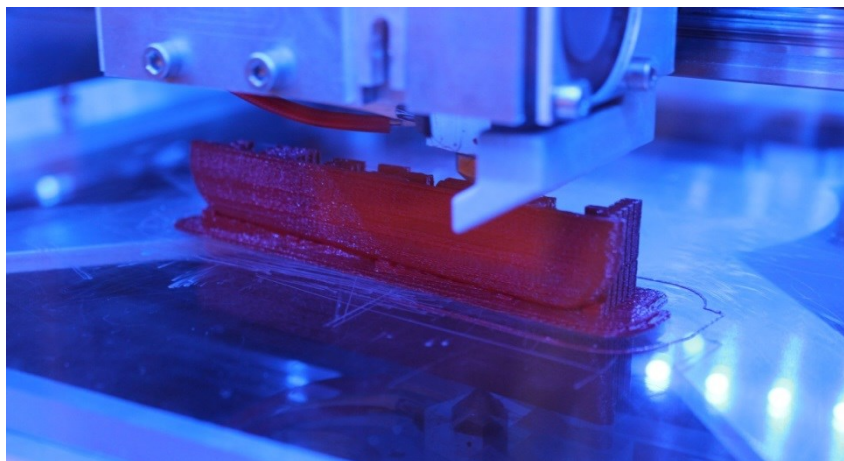


Obr. 53: Zobrazený Raft - 2 a Skirt - 1

Jelikož není 3D tiskárna přímo propojena se stolním počítačem, tak si uložíme výsledný projekt na flash disk a nahrajeme ho do tiskárny. Na LCD display vybereme požadovaný soubor a spustíme tisk.

3.3.3 Průběh tisku

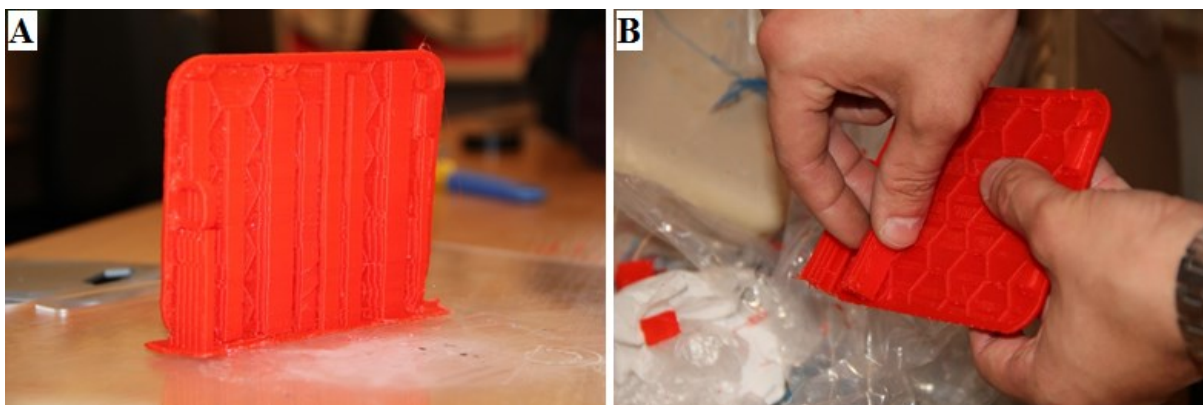
Proces tisku začíná kalibrací polohy tiskové hlavy vůči platformě. A to dotyky kalibračního čidla na třech různých místech. Poté se zahřeje vytlačovací tryska (Extruder) na požadovanou teplotu (200 °C). Samotný tisk začíná tvorbou „Skirtu“, poté se začne tvořit „Raft“. Oba pojmy jsou vysvětleny v kapitole 3.3.2. Následuje samotný tisk víčka vrstvu po vrstvě až po jeho dokončení (Obr. 54).



Obr. 54: Průběh tisku

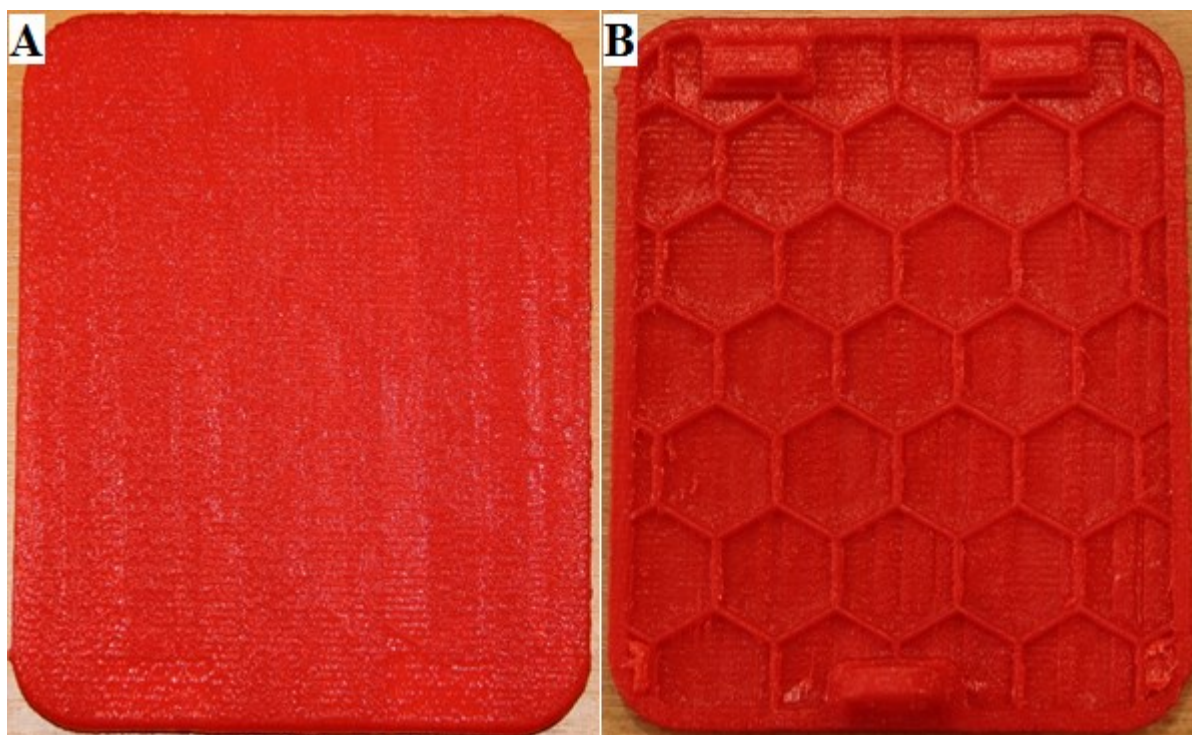
3.3.4 Odstranění podpor

Nejdříve je nutné za pomoci špachtle odstranit celé víčko z plastové platformy. Šlo to celkem obtížně, jelikož se celá podstava přitavila k plastové platformě. Následně se odstraní podpory s pomocí ostrého nože anebo pokud to jde jednoduše, tak odlomením rukou (Obr. 55).



Obr. 55: A – Víčko před odstraněním podpor, B – Odstranění podpor

Víčko s odstraněnými podporami je vyobrazeno níže z vrchní (Obr. 49/A) a spodní (Obr. 49/B) strany.



Obr. 56: A - Vzhled víčka z vrchní strany, B - Vzhled víčka ze spodní strany

Výsledný povrch víčka je celkem hrubý. Tloušťka vrstvy byla nastavena na 0,25 mm, proto je na něm vidět schodovitá struktura a jednotlivé vrstvy tisku. Velikost a tvar odpovídá výkresové dokumentaci.

3.4 Porovnání 3D tiskáren

V této části se zaměřím na porovnání času výroby a cen pro výrobu víčka mezi tiskárnami ProJet 1500 a Xeed.

- **Čas**

Byl srovnáván čas potřebný pro vytvoření víčka od začátku tisku, který byl reálně změřen. U obou tiskáren byl model víčka tištěn ve stejné poloze pro lepší srovnatelnost času tisku. Byl srovnáván jen čas tisku jedné součásti u obou tiskáren. Z měřených hodnot v tabulce (Tab. 5) je patrné, že u tiskárny Xeed je potřeba méně procesu k dokončení tisku. U ProJet 1500 jsou navíc nutné procesy vytvrzování a oplach modelu, které prodlužují celý proces výroby. Rychlost 3D tisku u ProJet 1500 ovlivňuje poloha součásti, čím vyšší součást tiskneme tím je tisk delší. Nezáleží na počtu tištěných součástí, jelikož tisk jedné vrstvy je neměnný. U 3D tiskárny Xeed naopak tisk nezávisí na poloze tištěné součásti, jelikož její rychlost je závislá na objemu součásti. Odstranění podpor trvalo u 3D tiskárny Xeed déle, z důvodu horší odstranitelnosti podpor. Celková doba potřebná pro výrobu víčka byla lepší u 3D tiskárny Xeed a to o více než 3 hodiny.

Tabulka 5: Časy výroby

Xeed		
Proces	Čas	Celkový čas
Tisk	5:45:00	5:52:30
Odstranění podpor	0:07:30	
ProJet 1500		
Proces	Čas	Celkový čas
Tisk	8:27:00	9:06:45
Vytvrzování	0:30:00	
Oplach	0:07:30	
Odstranění podpor	0:02:15	

- **Cena**

Z vypočtených hodnot (Tab. 6) vychází tisk levněji u tiskárny Xeed a to celkem výrazně. Tisk 1g materiálu vyjde na 0,94 Kč. U tiskárny ProJet 1500 pak 1g materiálu stojí 5,7 Kč. Výsledná cena víčka je vypočítaná z výsledné hmotnosti víčka z programu tiskárny vynásobená cenou 1g materiálu. Z tohoto hlediska vychází opět lépe tiskárna Xeed, kde výroba víčka stála přibližně 32,2 Kč. U tiskárny ProJet 1500 byla cena přibližně 350 Kč. Rozdíl v ceně je velice výrazný. Technologie FTI, kterou používá tiskárna ProJet je přesnější, ale ne zas o tolik, aby bylo výhodnější tisknout takto drazé.

Tabulka 6: Ceny výroby

Xeed			
Materiál	Množství	Cena	Cena x 27,5
PLA	1 kg	34 €	935 Kč
Cena 1 g materiálu	935 Kč/ 1000 g = 0,94 Kč		
Cena výroby víčka	34,3 g * 0,94 Kč = 32,2 Kč		
ProJet 1500			
Materiál	Množství	Cena	Cena x 20,1
VisiJet® FTI Ivory	2 kg	562 \$	11 296 Kč
Cena 1 g materiálu	11 296 Kč/ 2000 g = 5,7 Kč		
Cena výroby víčka	61,5 g * 5,7 Kč = 350 Kč		

5 SHRUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Cílem bakalářské práce v teoretické části byl popis vybraných technologií 3D tisku. V praktické části jsem se zabýval tiskem víčka konektoru dobíjení na 3D tiskárně ProJet 1500 pomocí technologie Film Transfer Imaging a na 3D tiskárně Xeed pomocí technologie Fused Deposition Modeling. Byly zde popsány zařízení potřebné pro tisk s následným popisem realizace tisku a porovnání těchto technologií na vytištěném víčku. Víčko bylo vytvořeno pro aktuálně vyvíjený elektromobil na katedře materiálů a technologií pro automobily

Rozdíly mezi technologiemi, které jsou použity u těchto dvou tiskáren jsou celkem zřetelné. ProJet 1500 používá k tisku technologii FTI, tj. vytvrzování kapalné pryskyřice UV paprsky. Kdežto 3D tiskárna Xeed používá k tisku technologii FDM, tj. nanášení roztaveného polymeru jako je ABS a PLA. Víčko se i přes vzniklé problémy podařilo vyrobit na obou jmenovaných tiskárnách. U tiskárny ProJet 1500 se často stávalo, že se tisk nečekaně přerušil v průběhu tisku. Většinou se model přilepil k pracovní ploše. U tiskárny Xeed bylo problémů více. Bylo celkem obtížné nastavit optimální parametry tisku.

Co se týče výsledného vzhledu povrchu, tak na první pohled je kvalitnější tisk na 3D tiskárně ProJet 1500 s výškou vrstvy 0,102 mm. Na druhé tiskárně je vidět hrubší povrch zapříčiněný větší nastavenou výškou vrstvy a to 0,25 mm. Výsledný tvar součásti odpovídal u obou tiskáren výkresové dokumentaci.

Hodnoty výsledných časů, potřebné pro vytvoření víčka jasně ukazují, že celková výroba je podstatně rychlejší na tiskárně Xeed. Není u ní nutný následný oplach součásti a vytvrzování jako je tomu u ProJet 1500.

Náklady na tisk jsou znatelně lepší u tiskárny Xeed, tisk víčka ve kterém je započítán jen materiál byl přibližně 32,2 Kč. U ProJet 1500 byla cena tisku 350 Kč.

Výzkum materiálových vlastností získaných vzorků je již nad rámec této práce. Nicméně pohledem materiálového inženýrství by bylo nesmírně přínosné prozkoumat tyto materiály z hlediska jejich mechanických vlastností.

Při vytváření této bakalářské práce jsem si osvojil teoretické znalosti i praktické dovednosti v oblasti technologií 3D tisku.

Výsledků bylo dosaženo díky finanční podpoře z projektu: 464/2013/A/b FRVŠ „Zřízení specializované laboratoře pro praktickou výuku moderních softwarových systémů“



POUŽITÁ LITERATURA

- [1] AdditiveFabrication (Rapid prototyping, tooling). *ManufacturingCostEstimation* [online]. [cit. 2013-11-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>
- [2] FDM Technology, AboutFusedDeposition Modeling. *Professional 3D Printing* [online]. [cit. 2013-11-25]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technology/fdm-technology>
- [3] PolyJetTechnology. *Professional 3D Printing* [online]. [cit. 2013-11-25]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/3D-Printers/technology/polyjet-technology>
- [4] Rapid Prototyping - Stereolithography (SLA). *ManufacturingCostEstimation* [online]. [cit. 2013-11-26]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>
- [5] Informace o technologiích 3D tisku. *Nový inovovaný FabbsterG* [online]. [cit. 2013-11-26]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>
- [6] 3DAddFab - Powered by Objet Polyjet Technology. *Cheap 3D Printing* [online]. [cit. 2014-03-9]. Dostupné z: <http://www.3daddfab.com/technology/>
- [7] LaminatedObjectManufacturing. *ManufacturingCostEstimation* [online]. [cit. 2014-03-9]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
- [8] Miltiadis A. Boboulos. CAD-CAM & Rapid prototypingApplicationEvaluation. 2010. 174s ISBN 978-87-7681-676-6.
- [9] Rapid Prototyping-Labor - FH O/O/W. *RP-Ausstattung* [online]. [cit. 2014-03-9]. Dostupné z: <http://www.fho-empden.de/~thoebel/rp/meaning.html>
- [10] 3D PrintingProcess - WhatisLaminatedObjectManufacturing (LOM)?. *THRE3D - 3D Printing, Simplified*. [online]. [cit. 2014-03-9]. Dostupné z: <https://thre3d.com/how-it-works/sheet-lamination/laminated-object-manufacturing-lom>
- [11] Nekonenční metody obrábění 10. díl. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-10-dil.html>
- [12] FusedDeposition Modeling (FDM) | 3D Printing | Solid Concepts Inc. *Solid Concepts: 3D Printing&Rapid PrototypingServices* [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.solidconcepts.com/technologies/fused-deposition-modeling-fdm/>



- [13] Selective Laser Sintering (SLS) | Rapid PrototypingService. *Solid Concepts: 3D Printing&Rapid PrototypingServices* [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.solidconcepts.com/technologies/selective-laser-sintering-sls/>
- [14] StereolithographyServicesGallery | SLA 3D PrintingServices. *Rapid PrototypingServices, 3D PrintingServices, 3D PrintingService, 3D Laser Scanners* [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://proto3000.com/sla-rapid-prototyping-services-gallery.php>
- [15] ProJet® 1500 | www.3dsystems.com. *3D Printers, 3D Printing, 3D Parts and Rapid Prototyping* | www.3dsystems.com [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/3d-printers/personal/projet-1500>
- [16] MasterGraphics Weblog & Blog Archive & ProJet 1500 vsCubeX. *MasterGraphics& Complete and innovative CAD and data management solutionsfrom Autodesk, as well as largeformat hardware solutionsfromOcé, 3d Systems, HP, Canon, and more.* [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.mastergraphics.com/wordpress/2014/projet-1500-vs-cubex/>
- [17] FusedDeposition Modeling (FDM). *ManufacturingCostEstimation* [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
- [18] Selective Laser Sintering (SLS) | www.3dsystems.com. *3D Printers, 3D Printing, 3D Parts and Rapid Prototyping* | www.3dsystems.com [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/selective-laser-sintering-sls>
- [19] VisiJet® FTI Ivory | www.3dsystems.com. *3D Printers, 3D Printing, 3D Parts and Rapid Prototyping* | www.3dsystems.com [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/materials/visijet-fti-ivory>
- [20] Advancedcompositematerialsused in 3D Printing | Stratasys. *Professional 3D Printing* | *Stratasys* [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/materials/polyjet/digital-materials#content-slider-1>
- [21] ThermalTestingwith Heat ResistantMaterials | Stratasys. *Professional 3D Printing* | *Stratasys* [online]. [cit. 2014-03-18]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/materials/polyjet/high-temperature>
- [22] ProJet 1500. *3D Printers, 3D Printing, 3D Parts and Rapid Prototyping* | www.3dsystems.com [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/sites/www.3dsystems.com/files/projet-1000-1500-us.pdf>



- [23] Text tématu - E-learning. *Univerzitní e-learningový systém - E-learning* [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: http://blade1.ft.tul.cz/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?page=publ&action=showThemeContentText&item=421&theme_id=36
- [24] CHUA C.K., LEONG K.F. AND LIM C.S., Chua C.K., Leong K.F. and Lim C.S. Rapid prototyping: principles and applications. 3rd ed. Singapour: WorldScientific. ISBN 978-981-2778-987.
- [25] STL. *Proč 3D tisk kovů, plastů a prototypové formy právě od nás?* [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/stl>
- [26] ProJet® 1500 | www.3dsystems.com. In: [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/au/3d-printers/personal/projet-1500>
- [27] DMLS - Direct Metal Laser Sintering. *Manufacturing Cost Estimation* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering>
- [28] The Xeed , wireless 3D printer - Leapfrog 3D Printers. *Home - Leapfrog 3D Printers* [online]. [cit. 2014-05-31]. Dostupné z: <https://www.lpfrg.com/product/xeed/>
- [29] Materiály pro 3D tisk | FUTUR3D. *FUTUR3D | 3D tiskárny, 3d tisk a 3d scan Praha* [online]. [cit. 2014-05-31]. Dostupné z: <http://www.futur3d.net/materialy-pro-3d-tisk>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schématické zobrazení Fused Deposition Modeling [2].....	6
Obr. 2: Blatník [12].....	7
Obr. 3: Vrtule ventilátoru [12].....	7
Obr. 4: Schématické zobrazení Laminated Deposition Modeling [7]	8
Obr. 5: Turbína [9].....	9
Obr. 6: Víčko [10].....	9
Obr. 7: Schématické zobrazení Selective Laser Sintering [5]	10
Obr. 8: Sání [13]	11
Obr. 9: Výfukové svody [18].....	11
Obr. 10: Schématické zobrazení Direct Metal Laser Sintering [27]	12
Obr. 11: Schématické zobrazení PolyJet [6].....	13
Obr. 12: Prototyp turbíny [20]	14
Obr. 13: Výdech topení [21]	14
Obr. 14: Schématické zobrazení Stereolithography [4].....	15
Obr. 15: Součást výfukových svodů [14]	16
Obr. 16: Sání [14]	16
Obr. 17: Schématické zobrazení Film Transfer Imaging [15].....	18
Obr. 18: Model bloku motoru [15]	18
Obr. 19: Pracoviště pro 3D tisk	19
Obr. 20: 3D tiskárna ProJet 1500 [26].....	20
Obr. 21: Kazeta (Cartridge) s materiálem k tisku	21
Obr. 22: ProJet 1500	22
Obr. 23: Pohled z boku	23
Obr. 24: Vodováha.....	23
Obr. 25: Vytvrzovací jednotka ProJet	24
Obr. 26: Oplachové pracoviště	25
Obr. 27: Nástroje pro oplach a odstranění podpor.....	25
Obr. 28: Xeed.....	26
Obr. 29: A - Pracovní prostor tiskárny, B - Vytlačovací hlava	27
Obr. 30: Cívka s materiálem	28
Obr. 31: 3D model víčka	29
Obr. 32: Rozlišení formátu STL	30



Obr. 33: Uložení do formátu STL.....	31
Obr. 34: Kazeta s materiálem	32
Obr. 35: Platforma s tiskovou podložkou	32
Obr. 36: Uživatelské rozhraní.....	33
Obr. 37: PrintPreview	34
Obr. 38: Ovládací panel	34
Obr. 39: Parametry dílu	35
Obr. 40: Nedotisknuté víčko	36
Obr. 41: Připravené víčko k tisku	36
Obr. 42: Průběh tisku	37
Obr. 43: Oplach v čistícím roztoku.....	38
Obr. 44: Oddělení součásti od platformy.....	38
Obr. 45: Oplach vodou	39
Obr. 46: A - Umístění víčka ve vytvrzovací jednotce, B - Proces vytvrzování.....	39
Obr. 47: Odstranění podpor	40
Obr. 48: Umístění víčka ve vytvrzovací jednotce	40
Obr. 49: A - Vzhled víčka ze spodní strany, B - Vzhled víčka z vrchní strany.....	41
Obr. 50: Přebroušené víčko	42
Obr. 51: Instalace cívek s materiálem.....	42
Obr. 52: Simplify 3D – nastavení polohy víčka	43
Obr. 53: Zobrazený Raft - 2 a Skirt - 1	44
Obr. 54: Průběh tisku	44
Obr. 55: A – Víčko před odstraněním podpor, B – Odstranění podpor.....	45
Obr. 56: A - Vzhled víčka z vrchní strany, B - Vzhled víčka ze spodní strany.....	45



SEZNAM PŘÍLOH

1. **Příloha:** Víčko konektoru nabíjení (Výkres SCX3-06-00-01)

